Università degli Studi di Cagliari
Facoltà di Ingegneria

Dipartimento di Ingegneria del Territorio

DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA DEL TERRITORIO
XXIV ciclo

TESI: “*Definizione di una metodologia per l’implementazione di un sistema di aiuto alla decisione, in ambiente GIS, finalizzato all’integrazione dell’efficienza energetica degli edifici residenziali nei processi di formulazione e valutazione di politiche, piani o programmi in ambito urbano*.”

Dottorando
Stefano Pili

Tutor scientifico
Prof. Emanuela Abis

SOMMARIO

Premessa

Con l'entrata in vigore del Protocollo di Kyoto[1] e l'avvento delle recenti direttive comunitarie che prevedono una drastica riduzione delle emissioni di GAS serra per il 2020[2], il tema dell'efficienza energetica è diventato una delle priorità dei governi nazionali. Il settore residenziale, al quale nei paesi europei è riferibile circa il 40% delle emissioni, è uno dei settori strategici per il perseguimento dell'obiettivo comunitario.

Se da una parte le tecnologie esistenti rendono già possibile la realizzazione di nuovi edifici a consumo quasi zero, nel declinare questo paradigma negli ambiti urbani consolidati si incontrano ancora notevoli difficoltà tecniche, normative e culturali. Dal punto di vista tecnico lo sviluppo delle nuove tecnologie in edifici già esistenti può semplicemente non essere possibile o può generare costi non proporzionati ai benefici; mentre sotto il profilo normativo si può scontrare con le istanze di tutela del paesaggio e dei beni culturali o con regolamenti edilizi non adeguati alle nuove esigenze. La tematica dell'efficienza energetica degli edifici può essere divisa in due filoni profondamente differenti per approccio e metodologie utilizzabili: il progetto di nuovi insediamenti ed il recupero del patrimonio esistente. I nuovi edifici, o la realizzazione ex novo di interi complessi, costituiscono un'occasione privilegiata per applicare i criteri di sostenibilità energetica fin dalle prime fasi del progetto integrando le tecnologie disponibili in maniera ottimale. In questo caso il problema diventa squisitamente progettuale incentrandosi sulla sperimentazione di tecnologie e materiali o sullo studio di modelli insediativi sostenibili. Al contrario Il miglioramento della sostenibilità del patrimonio edificato esistente non è solo una problematica di ottimizzazione tecnico-architettonica ma ha tutte le caratteristiche di un *problema decisionale non strutturato*[3] che coinvolge a più livelli planner, decisori e cittadini. In questo caso, tanto i dati di input del problema, ossia lo stato attuale delle caratteristiche del patrimonio edificato, quanto le metodologie per la sua risoluzione hanno un forte grado di indeterminatezza; ciò rende difficile valutare tra diverse ipotesi di trasformazione urbana.

Attualmente è possibile conoscere i consumi del settore residenziale ricavandoli dalle vendite di combustibile e dalle bollette, ma il dato non è sempre disponibile e comunque fornisce un'informazione aggregata alla scala urbana dalla quale non è possibile esplicitare direttamente i legami con le caratteristiche del patrimonio edificato. Al contrario, per definire efficacemente un programma di trasformazione urbana in chiave sostenibile, si ha la necessità di esplicitare le differenze che intercorrono tra le diverse parti della città.

---

[1]Il protocollo di Kyōto è stato sottoscritto nella città giapponese di Kyōto l'11 dicembre 1997 ed è entrato ufficialmente in vigore il 16 febbraio 2005, dopo la ratifica anche da parte della Russia.

[2] DIRETTIVA 2010/31/UE, sulla prestazione energetica nell'edilizia.
DIRETTIVA 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili.
DIRETTIVA 2002/91/CE sul rendimento energetico nell'edilizia.

[3]Structured, semi-structured and un-structured decision problem, Turban et altr. *Decision Support Systems and Intelligent Systems*, 7th Edition; Prentice Hall (2005).

I consumi reali del settore residenziale, ossia quelli misurati, non sono solo il risultato delle caratteristiche fisico-impiantistiche degli edifici, ma contengono una forte influenza della componente umana che con i suoi comportamenti incide notevolmente sul fabbisogno energetico. L'esplicitazione di questi due contributi è di primario interesse per la definizione mirata delle azioni rivolte alla parte fisica della città e per il progetto di efficaci campagne di educazione della cittadinanza.

Per definire il fabbisogno energetico è necessario conoscere le caratteristiche fisico-geometriche degli edifici e quelle tecniche degli impianti; la mancanza di data base territoriali che possano fornire queste informazioni con completezza ed adeguato riferimento spaziale rende particolarmente difficile tracciare un quadro della conoscenza sufficientemente rappresentativo della realtà. Esistono in letteratura più esperienze che utilizzano metodi analitici, statistici o misti per definire il fabbisogno energetico del patrimonio edificato in maniera funzionale ai propri scopi, ma tutte, per superare la forte indeterminatezza dei dati iniziali, compiono assunzioni e semplificazioni, più o meno arbitrarie, che ne limitano la precisione e l'utilità dei risultati.

Nel recupero sostenibile del patrimonio costruito, la sostanziale mancanza dei dati di partenza e la difficoltà di comunicazione tra il sapere tecnico di alcuni portatori di interesse e quello, meno specialistico, di decisori e cittadinanza complicano il processo di sintesi della conoscenza che è alla base di un'azione di piano efficace.

I decisori, perciò si trovano a dover effettuare scelte in contesti conflittuali, caricati di forti aspettative economiche e politiche, su aspetti di natura tecnica non sempre facilmente comprensibili ed integrabili con le tematiche tradizionalmente inerenti la pianificazione urbana.

In questo quadro teorico lo studio si pone l'obiettivo di *definire una metodologia per l'implementazione di un sistema di aiuto alla decisione finalizzato all'integrazione dell'efficienza energetica nei processi di formulazione e valutazione di politiche, piani o programmi di trasformazione urbana*.

Il cuore della metodologia è un tool GIS che, integrando i dati disponibili con l'apporto della conoscenza esperta degli attori del processo decisionale, è capace di calcolare il fabbisogno energetico del patrimonio edificato (calcolo Standard UNI 11300) e simulare gli effetti di possibili alternative progettuali contribuendo alla definizione del quadro della conoscenza del piano.

Lo scopo non è tanto ottenere una stima accurata dei fabbisogni energetici, quanto proporre una procedura che, utilizzando il linguaggio ormai acquisito della Certificazione Energetica, sia di supporto a decisori ed esperti nella sintesi della conoscenza per la formulazione e la valutazione delle politiche urbane.

Il lavoro di tesi si articolerà in tre parti:

– *la prima (Cap 1- Cap 5)*, a carattere più teorico, affronta alcuni temi che fanno da sfondo all'approccio metodologico di questo lavoro, che, pur entrando in argomenti piuttosto tecnici, ha l'obiettivo di

fornire uno strumento utile alla costruzione della conoscenza condivisa in un processo decisionale inerente le trasformazioni urbane in chiave di sostenibilità energetica;

- *la seconda (Cap 6-7)*, vero cuore dello studio, descrive come il metodo proposto possa sia definire lo *Stato Attuale* del patrimonio edificato, calcolandone i Fabbisogni netti e di Energia Primaria (calcolo standard della UNI 11300), che simulare scenari progettuali inerenti l'efficienza energetica degli edifici e la produzione energetica da FER.
- *la terza (Cap 8-9)* riporta i risultati dell'applicazione della metodologia in un quartiere della città di Cagliari al fine di mostrarne, seppur parzialmente, le potenzialità ed i limiti.

Infine, nelle conclusioni, si accenna ad alcune interessanti prospettive di ricerca fortemente legate a questo lavoro.

Capitolo 1

Valutazione, conoscenza e processo di piano

1.1 La valutazione come strumento per l'efficacia del piano

La crescente convinzione che l'unico modo per concepire lo sviluppo sia rendere compatibili ambiente ed attività umane ha fatto sì che le politiche territoriali si siano evolute verso la ricerca di una maggiore integrazione fra ambiente e programmazione di sviluppo, in funzione della "sostenibilità" dello stesso.

La ricerca di un sempre maggiore equilibrio tra le attività umane ed i processi ambientali attribuisce un ruolo di primo piano nelle attuali politiche territoriali alla questione energetica. Si assiste da un lato alla ricerca di soluzioni alternative per la produzione di energia da fonti rinnovabili con tecnologie ad alta efficienza e dall'altro alla formulazione di politiche volte al contenimento dei consumi. I nuovi scenari di produzione e consumo energetico sono fortemente collegati con le trasformazioni territoriali ed urbanistiche generando un nuovo fronte con il quale la pianificazione deve confrontarsi sia coi suoi strumenti settoriali che con quelli di natura territoriale. Il disegno di nuovi scenari di sviluppo carica la pianificazione energetica di aspettative che vanno ben oltre il semplice risparmio energetico rientrando tra i principali temi della pianificazione territoriale ed urbanistica in chiave di protezione dell'ambiente e di sviluppo socio-economico. L'incremento di forme di incentivazione per la produzione di energia da fonti rinnovabili rende sempre più interessate la possibilità di investire nel settore da parte delle aziende e sta creando una nuova tipologia di aziende specializzate a fornire servizi di alta qualità inerenti alle energie alternative. Le amministrazioni locali si trovano a dover valutare gli effetti delle tecnologie di produzione di energia rinnovabile e di risparmio energetico nel sistema complesso oggetto delle politiche di sviluppo territoriale, spesso con regolamenti e procedure non concordanti. Le istanze di risparmio energetico possono scontrarsi con quelle di tutela paesaggistica e di controllo della attività edificatoria ma, soprattutto, si devono confrontare con la limitatezza delle risorse economiche sia nel pubblico che nel privato che porta inevitabilmente a definire gli interventi secondo una scala di priorità. È evidente come lo sviluppo di tali tecnologie e il loro impatto (positivo e negativo) sul territorio debbano essere considerati all'interno dei procedimenti di Valutazione Ambientale Strategica (VAS) generando un processo partecipativo ed educativo interessante quanta più popolazione possibile.

Tale processo valutativo è ormai considerato parte dell'iter di formazione e definizione di politiche o piani e programmi per la gestione delle trasformazioni territoriali. La valutazione non è più una attività prevista a valle della definizione del piano per valutarne gli effetti, ma concorre, con il suo peculiare carattere esplorativo della realtà, alla costituzione dell'oggetto stesso della valutazione. La strutturazione della valutazione basata sul concetto di razionalità limitata, tipico dei processi interpretativi dei sistemi complessi, contiene un approccio incrementale di formazione della conoscenza che interessa tanto i progettisti quanto gli attori protagonisti degli output del progetto. Nella Valutazione Ambientale Strategica, proposta in sede comunitaria, la valutazione stessa diventa la

principale sede per la partecipazione degli attori al processo di piano. Essa viene introdotta con l'intento di colmare dei gap metodologici generati dall'applicazione della procedura di VIA[1] spesso relegata ad un mero atto formale di valutazione degli effetti di un progetto già delineato sulle componenti ambientali[2] e quindi per perfezionare i processi decisionali stessi. Nelle sue linee generali la VAS è stata disegnata come processo di supporto alla pianificazione per integrare su base ambientale le diverse azioni di gestione del territorio. Questo strumento ha come scala privilegiata di analisi quella dei piani e programmi dove si rende necessaria la valutazione degli impatti cumulativi[3]; la metodologia rimane inefficace nei ristretti intervalli temporali e spaziali concessi alla valutazione ambientale del progetto, mentre alla scala geografica e temporale propria del piano diventa strumento attendibile di previsione, selezione comparativa tra alternative, scelta coerente rispetto agli obiettivi ambientali prefissati.

La procedura di VAS, nel caso di piani o programmi che agiscono sul territorio, ha il duplice compito di verificare le compatibilità ambientali delle scelte in merito all'uso sostenibile delle risorse e di supportare il processo decisionale verificandone la congruenza interna ed esterna e ricalibrandone le strategie.

Per poter svolgere entrambi questi compiti la realizzazione di una VAS comporta in genere l'esecuzione di tre percorsi valutativi. Il *primo percorso* consiste nella valutazione degli effetti ambientali del piano con l'indicazione delle relative mitigazioni. *Una corretta valutazione delle strategie e delle azioni di piano non va effettuata rispetto allo stato attuale del sistema oggetto di intervento, ma rispetto alla sua probabile evoluzione in assenza del piano, in modo da tener conto delle possibili dinamiche socio-economiche e territoriali* (MAGONI, 2007). Si rende quindi necessario confrontare scenari relativi alla configurazione del territorio sottoposto alle scelte di piano con lo scenario di non progetto. Il *secondo percorso* valuta la sostenibilità della configurazione prefigurata dal piano sulla base di due criteri: il primo consiste nella verifica della disponibilità delle principali risorse ambientali di un territorio rispetto ai relativi fabbisogni attuali e prefigurati dal piano, il secondo è inerente alla verifica dell'incidenza delle azioni del piano sugli elementi sensibili e critici di un territorio. *Gli elementi sensibili sono quegli elementi rari, di pregio o di elevata vulnerabilità all'azione dell'uomo che vanno tutelati nei modi più opportuni …*

---

[1] La Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) viene introdotta per la prima volta negli anni '70 negli Stati Uniti, attraverso il National Environmental Policy Act (NEPA), viene poi introdotta in Europa un decennio più tardi (Direttiva 85/337/CEE, successivamente integrata dalla Direttiva 97/11/CEE). In Italia la Direttiva è stata recepita con la L.349/86 "Istituzione del Ministero dell'Ambiente e norme in materia di danno ambientale". Le opere soggette a VIA sono state stabilite dal DPCM 10/08/88 e dal DPR 12/04/96 (abrogato dal D.lgs 152/2006), mentre i contenuti dello studio di impatto ambientale (SIA) e la caratterizzazione delle componenti e dei fattori ambientali sono stati definiti attraverso il DPCM 27/12/88.

[2] Si tratta della direttiva CE 42/2001 sulla VAS, questa stata recepita dall'Italia attraverso l'emanazione del Testo Unico sull'Ambiente (D. Lgs. 152/2006.)

[3] È utile in questo contesto riportare alcune delle definizioni più esaustive di impatti cumulativi, come quella proposta da Gilpin (GILPIN, 1995) che così li descrive: "Effetti riferiti alla progressiva degradazione ambientale derivante da una serie di attività realizzate in tutta un'area o regione, anche se ogni intervento, preso singolarmente, potrebbe non provocare impatti significativi; Odum (Odum, 1982) associa la degradazione ambientale alla "tirannia delle piccole decisioni; quegli impatti che risultano dai cambiamenti incrementali causati da un piano insieme ad azioni passate, presenti e ragionevolmente prevedibili in futuro" (ODPM, 2002)

Gli elementi critici sono gli elementi soggetti, o che sono stati soggetti, ad azioni antropiche che hanno innescato processi di degrado e che quindi richiedono la realizzazione di interventi di recupero al fine di consentirne un miglioramento che soddisfi gli standard di qualità ambientale attuali (MAGONI, 2007).

Il *terzo percorso* serve principalmente ad ottemperare al carattere strategico della VAS e ad accrescere l'efficacia del processo valutativo, ed in larga parte può essere svolto durante la valutazione in itinere. La corretta attuazione del piano passa per un continuo controllo del grado di rispondenza delle azioni di piano alle trasformazioni del territorio attraverso il monitoraggio di alcuni indicatori rappresentativi delle principali componenti territoriali e ambientali, in modo da individuare nel tempo gli scostamenti ritenuti rilevanti rispetto sia alle previsioni di piano che agli effetti sul sistema. *L'eventuale rilevazione di scostamenti di eccessiva entità serve ad attivare dei meccanismi di modifica delle azioni e delle strategie di piano in modo che il piano continui a perseguire i propri obiettivi o comunque a conseguire livelli di qualità ambientale soddisfacenti* (MAGONI, 2007). La valutazione in itinere costituisce l'importante momento in cui si esplicitano tutte le potenzialità del processo valutativo, che permette di ricalibrare le azioni del piano in maniera immediata facendo in modo che questo non sia uno strumento congelato nel tempo, e perciò sempre inadeguato, ma possa fornire risposte immediate ad una realtà in continuo mutamento. Per poter effettuare la valutazione in itinere occorre strutturare in modo integrato gli obiettivi con le strategie e le azioni di piano: devono essere definiti i traguardi che si intende conseguire, i quali costituiscono la traduzione degli obiettivi in parametri misurabili nel tempo, ossia devono essere definiti in partenza i riferimenti rispetto ai quali misurare gli impatti diretti ed indiretti. Pertanto, per ciascun elemento rilevante del sistema e per gli elementi critici o sensibili vanno individuati uno o più indicatori che dovranno essere sistematicamente aggiornati con cadenze temporali calibrate rispetto ai tempi di realizzazione degli interventi e ai loro effetti ambientali.

La scelta degli indicatori da monitorare deve tener conto di due esigenze contrapposte: da una parte dei tempi con cui vengono ordinariamente aggiornate le informazioni ritenute utili e della capacità degli uffici tecnici di rilevare eventuali ulteriori dati significativi; dall'altra degli intervalli temporali con cui i diversi fenomeni vanno rilevati, allo scopo di conoscerli tempestivamente per poter intervenire con efficacia (MAGONI, 2007).

L'enfasi sulla fase del monitoraggio del progetto durante il suo svolgimento è evidenziata da più voci; nella pratica viene dedicato ampio spazio all'individuazione di indicatori e alla metodologia per la loro definizione. In generale questi sono distinti fra indicatori di *stato*, riferiti a variabili ambientali, e *prestazionali*, finalizzati a fornire una misura di fenomeni o grandezze direttamente riferiti all'effettivo grado di realizzazione delle azioni previste dal piano.

Nonostante esista una vasta letteratura riguardo il monitoraggio delle azioni dei piani sulle componenti

del sistema territoriale[4] *spesso si riconosce che gli indicatori di sostenibilità ricorrenti nell'ormai vasta letteratura in merito possono non essere sempre significativamente sensibili alle specifiche capacità del piano* (BONIFAZI E REGA, 2009). Rimangono però più dubbi sulla reale capacità dei sistemi di monitoraggio di interferire con l'attuazione del piano; non sempre i meccanismi di feedback sono chiari e spesso si scontrano con le reali capacità dell'ente attuatore di rilevare i dati ed attuare le contromisure nei tempi richiesti.

La valutazione dell'efficacia della VAS può quindi assumere due prospettive distinte: la prima ricorre alla categoria di qualità: in questo senso una "buona" VAS è quella che si rifà ai principi guida largamente accettati dalla comunità scientifica. La seconda è focalizzata invece sugli esiti della VAS: in questo caso una VAS efficace è quella che è riuscita a incidere significativamente sul Piano o Programma cui è stata applicata nel senso di un reindirizzo verso una maggiore sostenibilità ambientale. (BONIFAZI E REGA, 2009).

In definitiva la Valutazione va vista come un "processo continuo" che si sviluppa lungo tutto il processo del piano e che, proprio in questa processualità fonda la sua capacità di integrare e rendere coerente il processo di pianificazione, indirizzandolo verso la sostenibilità ambientale e sociale, in una situazione in cui la diffusa tendenza alla compartimentazione delle discipline rende complessa la realizzazione di analisi transdisciplinari[5]. La modalità di integrazione offerta dal processo valutativo è rappresentata dall'interazione durante l'iter procedurale del piano tra l'ente che si occupa della pianificazione e quello competente nella valutazione: il continuo confronto consente adattamenti e miglioramenti che hanno ricadute sul prodotto finale rendendolo molto più completo. Tale collaborazione consente di applicare il principio di integrazione degli obiettivi di sostenibilità ambientale nelle politiche settoriali e di individuare un percorso metodologico capace di massimizzare l'efficacia del piano specie nelle decisioni di base relative al contenuto, integrando aspetti ambientali, sociali ed economici in un processo di apprendimento reciproco. *In questo senso "l'apprendimento" costituisce una categoria analitica cruciale nel valutare l'efficacia o la qualità della VAS di piani urbanistici e può essere inteso sia come formazione reciproca fra esperti diversi e fra questi e altri soggetti portatori di conoscenze non codificate, sia come instaurazione di nuove routines all'interno degli apparati tecnico-amministrativi, ma anche come momento di dialogo e confronto fra diversi livelli e soggetti attivi nella governance territoriale* (BONIFAZI E REGA, 2009).

Perciò l'attivazione di una procedura di VAS presuppone un processo di valutazione che accompagni la

[4]Tra i principali studi sugli indicatori di sviluppo sostenibile si vedano quelli elaborati da Eurostat e delle Nazioni Unite, OCSE.

[5] Ci sono differenze notevoli: secondo Michael Scriven (1999, pag 364) 'multidisciplinarietà' fa riferimento semplicemente all'uso di metodi di discipline diverse non integrate in una teoria unitaria; 'interdisciplinarietà' riguarda la sovrapposizione di discipline sullo stesso campo di interessi; 'transdisciplinarietà' è l'apporto di discipline diverse che confluiscono in una metodologia, epistemologia e ontologia costituendo un insieme coerente e tendenzialmente autonomo.

definizione del documento di piano lungo tutta la sua durata (fig. n°1).

Fase del piano	Processo di piano	Ambiente/ VA
Fase 0 **Preparazione**	P0. 1 Pubblicazione avviso P0. 2 Incarico per la stesura del P/P P0. 3 Esame proposte pervenute elaborazione del documento programmatico	A0. 1 Incarico per la redazione del rapporto ambientale
Fase 1 **Orientamento**	P1. 1 Orientamenti iniziali del piano	A1. 1 Integrazione della dimensione ambientale nel piano
	P1. 2 Definizione schema operativo per lo svolgimento del processo e mappatura del pubblico e dei soggetti competenti in materia ambientale coinvolti	A1. 2 Definizione schema operativo per la VAS e mappatura del pubblico e dei soggetti competenti in materia ambientale coinvolti
	P1. 3 Identificazione dei dati e delle informazioni disponibili sul territorio	A1. 3 Eventuale Verifica di esclusione (screening)
Conferenza di verifica / valutazione	avvio del confronto	
Fase 2 **Elaborazione e redazione**	P2. 1 Determinazione obiettivi generali	A2. 1 Definizione dell'ambito di influenza (scoping) e definizione della portata delle informazioni da includere nel rapporto ambientale
	P2. 2 Costruzione dello scenario di riferimento e di piano	A2. 2 Analisi di coerenza esterna
	P2. 3 Definizione obiettivi specifici e linee d'azione e costruzione delle alternative	A2. 3 Stima degli effetti ambientali costruzione e selezione degli indicatori A2. 4 Confronto e selezione delle alternative A2. 5 Analisi di coerenza interna A2. 6 Progettazione del sistema di monitoraggio
	P2. 4 Documento di piano	A2. 7 Rapporto ambientale, sintesi non tecnica
Conferenza di valutazione	deposito del documento di piano e del rapporto ambientale	
	valutazione del documento di piano e del rapporto ambientale	
	parere motivato predisposto dall'autorità competente per la VAS, d'intesa con l'autorità procedente	
Fase 3 **Adozione approvazione**	P3. 1 Adozione del piano	A3. 1 Dichiarazione di sintesi
	P3. 2 Pubblicazione e raccolta osservazioni, risposta alle osservazioni	A3. 2 Analisi di sostenibilità delle osservazioni pervenute
	P3. 3 Approvazione finale	A3. 3 Dichiarazione di sintesi finale
Fase 4 **Attuazione gestione**	P4. 1 Monitoraggio attuazione e gestione P4. 2 Azioni correttive ed eventuali retroazione	A4. 1 Rapporti di monitoraggio e valutazione periodica

Fig. n°1.1 Schema di un processo di piano e valutazione

(Regione Lombardia. Indirizzi generali per la valutazione ambientale di piani e programmi)

La partecipazione è una caratteristica fondamentale della valutazione che ne costituisce la ricchezza intrinseca dell'approccio incrementale[6] in quanto è capace di fornire la conoscenza sul territorio e sulle dinamiche complesse che lo animano e costituisce una condizione irrinunciabile per la sostenibilità del piano. Il processo partecipativo, perché sia realmente efficace, deve iniziare sin dalla prime fasi di

[6] Lindblom, nel 1958, proponendo il *disjointed incrementalism* come demolizione del processo decisionale realizzato in una sola fase caratterizzato da un approccio fortemente razionalista di causa ed effetto.

elaborazione del piano e contribuire alla scelta degli indicatori da usare per la selezione delle alternative e dei pesi da attribuire agli stessi ai fini della valutazione. È evidente che, per la buona riuscita del processo, gli stakeholders debbano essere individuati in fase preliminare e coinvolti periodicamente al fine di informare sull'evoluzione del tavolo tecnico, ma anche per recepire in itinere le osservazioni, così minimizzare i conflitti che naturalmente si generano quando il coinvolgimento si limita alla consultazione pubblica nella fase finale dell'approvazione del Piano. Risulta quindi di fondamentale[7] costruire una banca dati dei soggetti portatori di interessi[8], da coinvolgere nella fase di formazione e, successivamente, nella fase di attuazione del Piano; tale mappatura implica la discussione, in prospettiva, delle informazioni da includere nella banca dati da strutturare e quindi influisce direttamente sull'approntamento del processo valutativo.

Attualmente la partecipazione del pubblico nella pianificazione - programmazione tende ad essere concentrata soltanto nella fase di consultazione sul piano, con limitate possibilità di interazione. Poiché la diversità dei metodi di partecipazione non è regolata, la loro applicazione dipende dalla volontà politica dell'organismo che porta avanti il piano. (POLETTI, PINTO, 2007).

Affinché la partecipazione conduca a risultati efficaci le fasi del processo devono essere adeguatamente programmate durante tutto l'iter di formazione assicurando l'informazione minima a tutti i soggetti coinvolti, che devono avere la possibilità di esprimere pareri ad ogni step.[9] I risultati della partecipazione dovrebbero sempre essere resi pubblici così come quelli dei processi di concertazione e di consultazione. Risulta, inoltre, opportuno che essi divengano parte integrante del percorso di VAS, incidendo sulla elaborazione del piano.

L'interpretazione da parte della normativa italiana e delle esperienze legislative regionali generalmente travisa lo spirito della direttiva europea che vorrebbe stimolare l'esplicitazione degli impatti cumulativi in una dimensione strategica di comparazione tra scenari che diventi parte integrante del processo di piano. Nella pratica la partecipazione e la valutazione stessa degli effetti sulle componenti ambientali vengono iniziate a piano già definito trasformando di fatto la VAS in una sorta di VIA dilatata al livello del piano[10], quando al contrario la valutazione dovrebbe partecipare alla costruzione dello stesso ed entrare nel merito della definizione e dell'analisi delle alternative.

---

[7] La Convenzione di Aarhus del 1998 ratificata con L. 108/2001, la direttiva 2003/4/CE, il D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 195/2005 e la Direttiva 2003/35/CE evidenziano la necessità della partecipazione del pubblico e, in maniera più specifica, il Protocollo UNECE sulla Valutazione Ambientale Strategica prevede l'estensione della partecipazione del pubblico a tutto il processo di pianificazione - programmazione

[8] In linea preliminare si possono utilizzare come riferimento le indicazioni contenute nell'esperienza di Enplan (Documenti relativi all'esperienza del Piano della Costa della Catalogna)

[9] Attualmente, per raggiungere questo risultato di partecipazione allargata, vengono utilizzati strumenti informatici come i forum on line su siti web, dove è presente anche una grande quantità di material informativi idonei a rendere il più trasparente possibile il processo decisionale e valutativo.

[10] *Nelle sue intenzioni originali la VIA doveva costituire uno strumento di gestione partecipativo per identificare, prevedere e valutare gli impatti ambientali associati a determinate azioni di sviluppo (*PENNA, 2007*). Tali azioni identificavano non solo i singoli progetti, ma, secondo quanto espresso dal Council on Environmental Quality, i*

La valutazione in itinere sembra essere uno dei valori aggiunti della VAS ma probabilmente il più disatteso in quanto la metodologia di scelta degli indicatori non è sempre chiara privilegiando gli indicatori di impatto[11]. *Si segnala che le principali carenze riguardano gli indicatori: una delle motivazioni potrebbe essere fatta risalire al tentativo di adempiere al comma 2 dell'articolo 10 per cui si utilizzano gli indicatori esistenti, spesso quelli relativi al monitoraggio dello stato dell'ambiente, che però raramente sono rappresentativi delle azioni di piano, sensibili e soprattutto non sono adatti al livello a cui si applicano* (PENNA, 2007).

Penna sottolinea che se da una parte vengono tenuti in forte considerazione gli indicatori di impatto sulle componenti ambientali, ampiamente documentati in pubblicazioni nazionali ed internazionali, dall'altra vi siano obiettive difficoltà a sintetizzare indicatori esemplificativi delle azioni del piano stesso. Per l'implementazione di una buona fase di monitoraggio si rende quindi necessario evidenziare le sue finalità in modo da scegliere l'approccio più corretto: per seguire le azioni del piano, per verificare il raggiungimento degli obiettivi, per individuare gli effetti, per cercare di tradurre obiettivi ambientali in obiettivi di pianificazione. Perciò è necessario strutturare la pianificazione come processo aperto, continuo, ciclico, con fasi valutative connesse e collegate grazie all'individuazione di indicatori e agli esiti del monitoraggio, che possono essere operativi solo se si sono definite precedentemente le soglie di compatibilità a cui fare riferimento, superate le quali occorre intervenire anche revisionando il piano. *La Valutazione ambientale infatti, non deve essere interpretata come l'ennesimo documento d'accompagnamento alla redazione di un piano o programma, bensì deve essere un modus operandi della progettazione; in altri termini la corretta applicazione dei principi di Valutazione ambientale richiede una azione di valutazione nel mentre si progetta ed una azione di progettazione in termini valutativi (valutare progettando e progettare valutando)* (CALIANO, 2007)

1.2 La ricerca valutativa come strumento per la conoscenza

Un questa parte dello studio è approfondito lo stato dell'arte con riferimento all'attività valutativa nella sua componete meta-valutativa. La prima domanda che ci si può porre è appunto cosa sia la valutazione: essa non è una procedura di controllo di compatibilità tra i risultati attesi di un progetto e quelli realmente ottenuti e nemmeno si tratta di una attività di controllo al fine di individuare chi sia il responsabile di questo o quel disservizio. Come già ampiamente ricordato precedentemente, la valutazione è il cuore dei programmi e delle politiche che agiscono sul territorio in quanto questo è

---

regolamenti, i piani, le politiche e i programmi (FISCHER, 2006). Purtroppo, come spesso avviene, il passaggio dalla teoria alla pratica non è sempre lineare, ma si inseriscono varianti e interpretazioni personali, che in questo caso hanno portato all'applicazione della VIA esclusivamente ai progetti (ROSNATI, BETTINI , PORCU, 2007)

[11] *L'articolo 10 comma 1 della Direttiva 2001/42/CE obbliga gli Stati a monitorare gli effetti significativi conseguenti all'attuazione di piani o programmi … ma non obbliga ad azioni di rimedio, richiede però una valutazione dei risultati del monitoraggio e la presa in considerazione delle azioni di rimedio possibili* (PENNA, 2007)

caratterizzato da un insieme di relazioni che configurano un sistema complesso. Secondo alcuni autori fare valutazione non consiste in una attività tipica di una disciplina ma è il luogo di incontro di più competenze multidisciplinari che si attua allo scopo di ridurre la complessità dei sistemi e facilitarne l'interpretazione. Ormai *lo stesso progettista è considerato portatore di una razionalità limitata in quanto attore in situazione dove non può acquisire una informazione completa perché vincolato alle risorse disponibili* (LANZARA, 1985 pag 342) … *anzi la dimensione progettuale è caratterizzata dal conflitto, dalla disputa e dalla divergenza di strategie di soluzioni diverse* (LANZARA 1985, pag 347).

In quest'ottica riportiamo alcune definizioni metodologiche[12] di valutazione che si tracciano con precisione la posizione della valutazione all'interno del processo decisionale.

"La valutazione è la raccolta sistematica di informazioni sulle attività, caratteristiche e risultati per formulare giudizi sul programma, migliorarne l'efficacia e/o indirizzare decisioni sulla futura programmazione" (PATTON, 1998).

"La valutazione dei programmi è essenzialmente uno sforzo di raccolta e interpretazione di informazioni che cerca di rispondere a una determinata serie di domande sul comportamento e sull'efficacia di un programma" (ROSSI, FREEMAN E LIPSEY, 1999)

La valutazione è qui intesa come una vera e propria ricerca sociale dove all'applicazione di una tecnica si preferisce uno sforzo epistemologico per la definizione delle proposizioni in un atteggiamento prettamente interpretativo.

A sottolineare ciò si aggiunge la definizione che si cercherà di applicare in questo studio

l'insieme delle attività collegate utili per esprimere un giudizio per un fine, giudizio argomentato tramite procedure di ricerca valutativa che ne costituisce l'elemento essenziale ed imprescindibile di affidabilità delle procedure e fedeltà delle informazioni utilizzate per esprimere quel giudizio (BEZZI, 2003).

Ben diversa è la definizione di Means che, in un approccio decisamente più positivista sulla capacità di comprensione dell'oggetto della valutazione, recita: *la valutazione di un intervento pubblico consiste nel giudizio del suo valore in relazione a criteri espliciti e sulle basi informative specificatamente raccolte e analizzate* (MEANS, 1999)

Il rischio di questa definizione, per altro di grande forza operativa, è che la programmazione non persegua più generiche finalità e scopi, bensì obiettivi puntuali sui quali misurare lo scarto fra programmato e realizzato, perdendo di vista il percorso che ha portato a quella determinata realizzazione.

Riassumendo ciò che è stato stritto si può dire che *la valutazione è principalmente (ma non esclusivamente) un'attività di ricerca sociale applicata[13], realizzata nell'ambito di un processo*

---

[12] Le definizioni sono tratte da "Disegno della Ricerca Valutativa, Claudio Bezzi, 2003, pag 55-56"

decisionale, in maniera integrata con le fasi di programmazione, progettazione e intervento, avente come scopo la riduzione della complessità decisionale attraverso l'analisi degli effetti diretti ed indiretti, attesi e non attesi, voluti o non voluti, dell'azione, compresi quelli non riconducibili ad aspetti materiali; in questo contesto la valutazione assume il ruolo peculiare di strumento partecipato di giudizio di azioni socialmente rilevanti, accettandone necessariamente le conseguenze operative relative al rapporto fra decisori, operatori e beneficiari dell'azione (BEZZI 2003a).

L'attività valutativa nell'ambito dei processi decisionali ha come principale scopo quello di interpretare la realtà al fine di rendere più semplici le azioni di decisione stessa e si svolge con la partecipazione di più stakeholders. In questo aspetto sta il primo nodo a cui la ricerca deve dare una risposta che si allontani da un operazionismo valutativo: non è possibile applicare procedure standard, di questo o quel modello, e stare ad osservare semplicemente i risultati che ne scaturiscono. *Questo problema è visto e letto in maniera diversa da diversi approcci valutativi, e può essere definito "problema della black box"* (STAME, 2004). Per "*black box"* si intende un atteggiamento che da per scontato il funzionamento e le logiche che governano l'oggetto della ricerca e perciò passa direttamente alla applicazione di tecniche, che, pur portando l'etichetta della procedura più volte testata[14], finiscono invariabilmente per dare informazioni lacunose o insignificanti. *La valutazione è senza ombra di dubbio anche ricerca sociale, ma la metodologia della valutazione sembra spesso afflitta da eccessi tecnicistici poco fondati da presupposti teorici ed epistemologici, cadendo a volte nel peccato mortale dell'operazionismo, in cui la tecnica si sovrappone alla capacità argomentativa che la deve sostenere, e il dato prodotto si sovrappone alla realtà, che resta opaca, misconosciuta, distorta.* (BEZZI, 2003a).

Il primo passo per la definizione di un processo valutativo è la definizione del "*mandato*" e del suo "*evaluando*", ossia si deve capire per chi e perché si stia facendo la ricerca e soprattutto quale sia l'oggetto su cui indagare o, più precisamente, quali siano le caratteristiche su cui si deve spostare la interpretazione valutativa di reali capacità euristiche. Tale possibilità di comprensione non risiede nel valutatore, ne tanto meno nel progettista o nel decisore, ma può scaturire da una visione condivisa ritrovabile introducendo in maniera chiara e rilevante gli *stakeholders* che in quel contesto agiscono, conoscono l'evaluando e possono descriverlo. *Non perché possiedano un'innata e magica capacità di compenetrarlo, ma perché l'evaluando è – come tutti i processi sociali – ciò che loro credono che sia, ciò che sono in grado di comunicare a proposito di esso, e anche ciò che vogliono comunicare, giacché anche*

---

[13] Per ricerca "applicata"si intende quelle che distingue la valutazione dalla ricerca di base, teorica,ed è sempre rivolta ad un fine che funge anche da ragione della valutazione stessa

[14] *Ancora troppo spesso la progettazione di sistemi di valutazione elude il necessario principio di coerenza interna tra queste tre dimensioni (per chi, perché, che cosa), e tra queste tre e la quarta (come): tale elusione è all'origine di sistemi-modelli o di interventi sostanzialmente autoreferenti, centrati sugli interessi del ricercatore (che invece di individuare il committente e analizzarne la domanda statuisce la propria come cogente), oppure sulla disponibilità di una determinata metodologia (che come tale in parte determina che cosa e come è indagabile e quindi valutabile)* (BRESCIANI,,2000)

le eventuali reticenze, ignoranze e incapacità espressive, volute o subite, conosciute o no, costruiscono quella complessiva comunicazione che costruisce la realtà. (BEZZI, 2007).

Da un confronto tra il valutatore gli stakeholder, dove il primo si ponga con un atteggiamento maiuetico verso il secondo, può essere spiegata la complessità dell'evaluando e possono essere formulate le opportune domande valutative che riescano a creare una base condivisa. Difatti la prima attività del valutatore è quella di aiutare gli attori coinvolti nel processo a chiarirsi circa le caratteristiche dell'evaluando, al fine di generare una piattaforma di linguaggio comune su cui impostare le corrette domande valutative e alla luce della quale interpretare i risultati. Vi è una differenza di linguaggi tra gli attori coinvolti nel processo decisionale, tecnici di estrazione culturale molto distante, decisori politici, categorie forti o rappresentanti delle fasce di popolazione più debole, che non sempre vedono l'evaluando dallo stesso punto di vista e in base a ciò richiedono risultati diversi dai programmi e dal processo valutativo. *Ciò significa che le dichiarazioni in merito, p.es. a cosa sia giudicabile "efficace" in una determinata situazione, non genera mai una totale coincidenza di valori condivisi, e di loro omogenea definizione* (STAME 2007).

Gli schemi grafici successivi rappresentano questo problema della non perfetta sovrapponibilità degli attori circa i confini e le interpretazioni dell'evaluando. L'esempio riguarda un servizio di una USL riservato alla distribuzione di metadone (BEZZI, 2007).

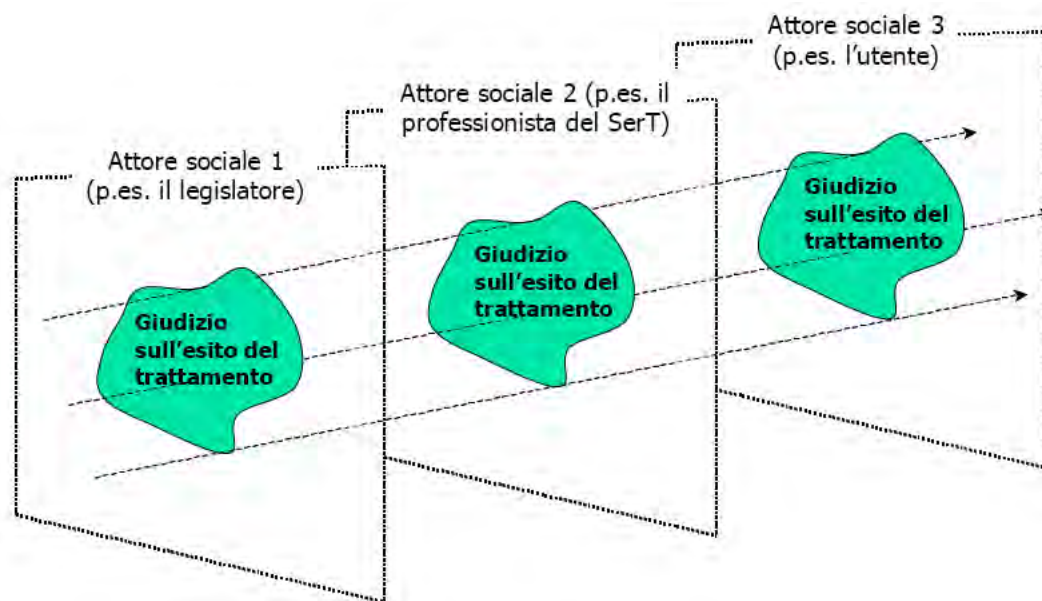



Fig. n°1.2 schema di situazione ideale in cui tutti gli attori condividono la stessa visione dell'evaluando (BEZZI, 2007)

Questo è uno schema di una situazione ideale (fig. n°2) in cui tutti gli attori condividono la stessa visione dell'evaluando e su cui è semplice costruire una efficace valutazione di prestazione del servizio. Ma nella realtà delle cose, come già detto, anche il gruppo di attori coinvolto rispecchia la polisemicità del contesto e si verificheranno delle situazioni più riconducibili allo schema seguente (fig. n°3).

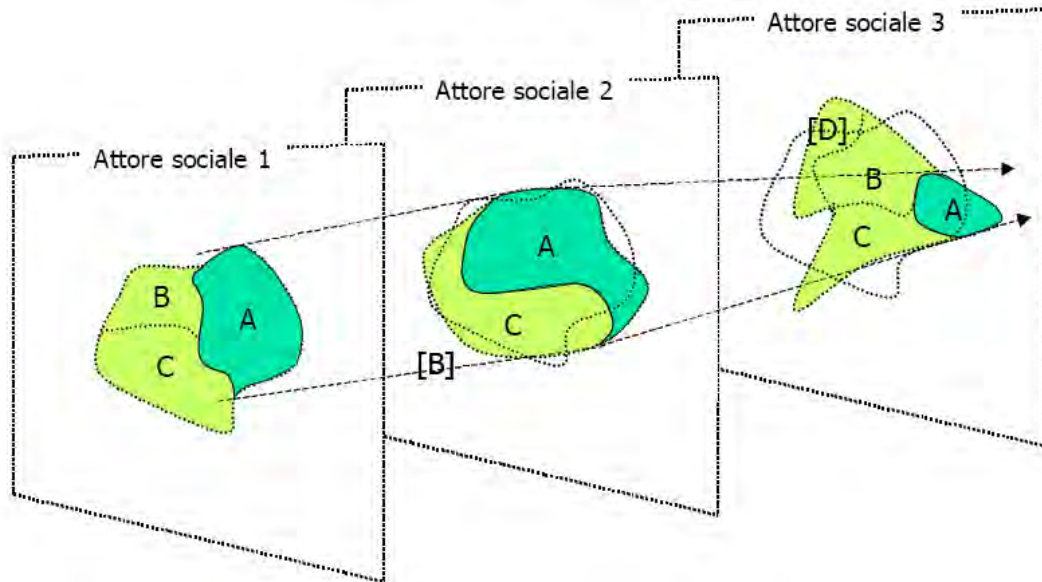



Fig. n°1.3 schema di situazione reale in cui ogni attore ha la propria visione dell'evaluando solo parzialmente congruenti tra di loro (BEZZI, 2007)

È necessario il riconoscimento delle differenze tra i linguaggi dei diversi attori, e, soprattutto, l'individuazione delle parti comuni su cui poter iniziare un processo sintetico interpretativo in cui esplicare la complessità dell'evaluando al fine di permetterne una valutazione condivisa delle prestazioni richieste in un campo semantico comune. Tale condivisione potrebbe anche essere un accordo forzato, frutto di convenienze immediate e stanchezza, o trascinato da figure leader, per cui molti autori prediligono una rappresentazione che dia conto delle differenze facendole diventare esse stesse buoni spunti per la valutazione, così come schematizzato nella figura seguente.

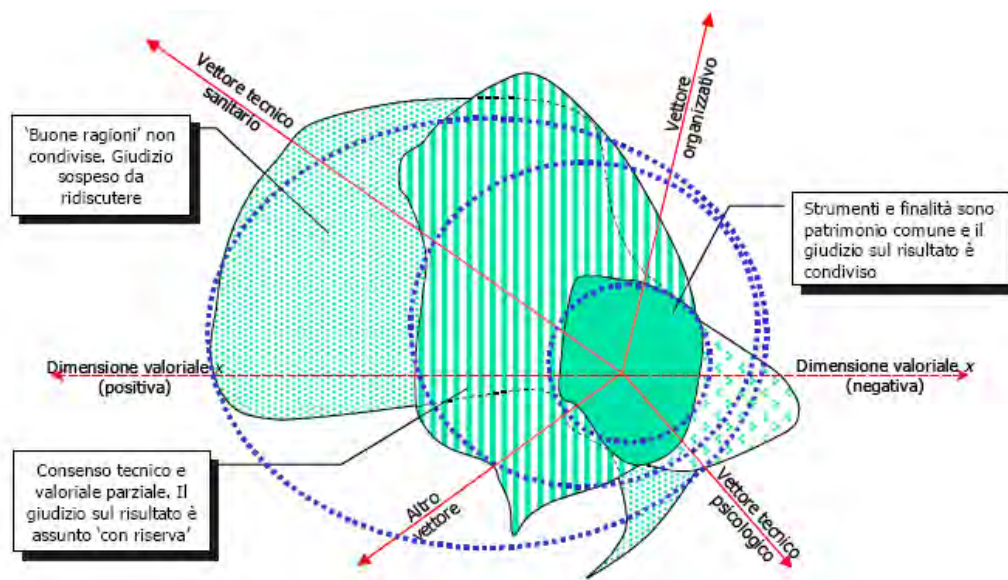



Fig.n°1.4, Rappresentazione della sintesi di un lavoro di gruppo con più attori (BEZZI, 2007)

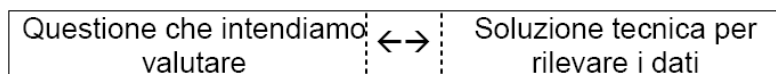
La figura n°4vcerca di rappresentare simbolicamente la sintesi pragmatica del lavoro di un gruppo: non si cerca un accordo (Fig. 3), ma si accettano i diversi valori e linguaggi compresenti nel gruppo, attribuendo ad essi funzioni potenziali ai fini organizzativi e valutativi, passando dagli elementi realmente condivisi, che avranno quindi una valenza trasversale, a quelli parzialmente condivisi all'interno di "culture organizzative" (valoriali, professionali, …) che esprimono delle "province di significato" omogenee (SCHÜTZ, 1962), che avranno una valenza funzionale, specifica. (BEZZI, 2007)[15].

La situazione di indeterminatezza del campo semantico dell'evaluando non deve però essere una scusa per un'applicazione acritica di questa e quella tecnica, saltando la prima fase del processo valutativo, ovvero la definizione del mandato e la formulazione delle domande valutative che tracciano il confine tra un esercizio di tecniche fine a se stesso ed una valutazione efficace. *L'evaluando è come un campo semantico opaco e cangiante, la cui significazione (una possibile, a volte quella sola possibile) costituisce l'elemento cardine di tutto il lavoro. Poi si potrà costruire un questionario, più o meno ben fatto; realizzare una costi benefici, più o meno attenta; condurre una Swot più o meno esplicativa. Ma se non si è esplorato inizialmente il campo semantico, tanto da fondare, poi, la valutazione, nessun questionario sarà ben fatto, né la costi benefici, né la Swot.* (BEZZI 2003b)

Circa la strutturazione di un corretto disegno della ricerca valutativa Bezzi, nell'oramai più volte citato testo, fornisce un contributo che identifica in tale processo cinque – sette fasi consequenziali (fig. n°5). Queste partono dall'esplorazione dell'evaluando fino alla definizione delle tecniche da applicare in un processo che, spinto da uno slancio interpretativo a forte valenza argomentativa, accompagna il valutatore fino alla scelta e all'applicazione delle tecniche di analisi dei dati.
L'autore mostra una forte propensione per la prima parte della ricerca valutativa, in quanto più carica di una valenza argomentativa propria della ricerca sociale, a scapito della seconda vista come una sorta di grande ricettario di tecniche utilizzabili solo dopo aver risolto i nodi meta-valutativi.
Il mondo mi pare sempre più complesso e difficilmente interpretabile al di fuori di logiche contingenti, di saperi locali, di prassi temporaneamente condivise; mi pare sempre più massicciamente legato al senso che si dà alle cose, e a come si riesce a raccontarlo, e quindi legato ai segni, ai significati, alle interpretazioni. Noi non accediamo alla realtà, né alla rappresentazione del soggetto. Accediamo alla narrazione della sua rappresentazione, o meglio: alla nostra interpretazione di quella narrazione. (BEZZI, 2003b)

[15] L'articolo prosegue con la trattazione del problema della validità nella valutazione basata su gruppi: "Validità", "attendibilità", "fedeltà", sono termini che appartengono alla logica della ricerca standard, e a quello che Lazarsfeld ha chiamato "il linguaggio delle variabili": una logica di matrice dei dati (qui sì che possiamo utilizzare questo termine), presumibilmente tratti da un'indagine campionaria. Tale argomenti esulano dagli obiettivi di questo studio per i quali si rimanda a Alessandro Bruschi,(1999) e Daniele Nigris (2003, 39-43)

Il nodo cruciale per Bezzi è il pericolo di ricadere nell'operazionismo valutativo che risponde ad un approccio concettuale di una banalità sconcertante: *nella ricerca sociale in generale e, per quello che ci interessa qui, nella ricerca valutativa in particolare, si trova troppo spesso una iper - semplificazione di questo genere*

Questione che intendiamo valutare	←→	Soluzione tecnica per rilevare i dati

Tale approccio salta tutto il processo che dalla formazione della conoscenza dell'evaluando porta alla scelta degli indicatori e delle tecniche di analisi, schematizzabile come segue.

Processo di conoscenza empirica	**Approccio operazionista**	**Approccio non operazionista**
1) identificazione dell''oggetto' che vogliamo osservare		
2) chiarificazione dell''oggetto': cos'è, in quale contesto è situato, da quali processi è attraversato, cosa sappiamo già di lui (teorie di riferimento, basi empiriche disponibili, inclusi i nostri saperi e pre-saperi), che obiettivi ci poniamo nell'indagarlo, …		
3) traduzione degli elementi sub 2 (concetti e loro dimensioni in elementi empiricamente esperibili (indicatori)	?	
4) scelta dei processi operativi che ci possono fornire informazioni su tali elementi (definizioni operative)		
5) messa in pratica di tali processi (rilevazione dei dati)		
6) analisi e interpretazione dei risultati		
7) confronto con l'oggetto in questione (feedback)		

Fig. n°1.5, confronto tra le fasi concettuali della ricerca valutativa e l'operazionismo valutativo (BEZZI, 2003a)

Se andiamo di fretta, se abbiamo il nostro pacchetto di tecniche da proporre (e solo quello), se non conosciamo le complesse problematiche della ricerca sociale, probabilmente adotteremo (inconsapevolmente) un approccio operazionista, qui inteso nel suo significato deteriore, correndo verso procedure, tecniche e strumenti, nell'illusione che ciò che 'fanno' le tecniche sia un disvelamento della realtà, intesa evidentemente come univoca, giusto in attesa che qualcuno la osservi in qualche modo. Se invece vogliamo capire qualcosa del problema che ci si è posto, occorre realizzare un processo più complesso, che passa necessariamente per un momento chiave: la riflessione analitica preliminare di ciò

che stiamo valutando, per adattare poi a tale evaluando, così come costituito dalla nostra riflessione, le procedure operazionali adeguate. (BEZZI, 2003b).

In una schematizzazione più operativa si può strutturare il processo di ricerca valutativa nelle seguenti fasi:

[1] Definizione del mandato
[2] Analisi obiettivi dell'evaluando e formul. domande valutative
[3] Accertamento delle risorse
[4] Definizione disegno preliminare
[5] Esplorazione spazio semantico
[6] Stipulazione valori valutativi
[7] Definizioni operative specifiche
[8] Raccolta e analisi dei dati
[9] Sostegno all'uso della valutazione

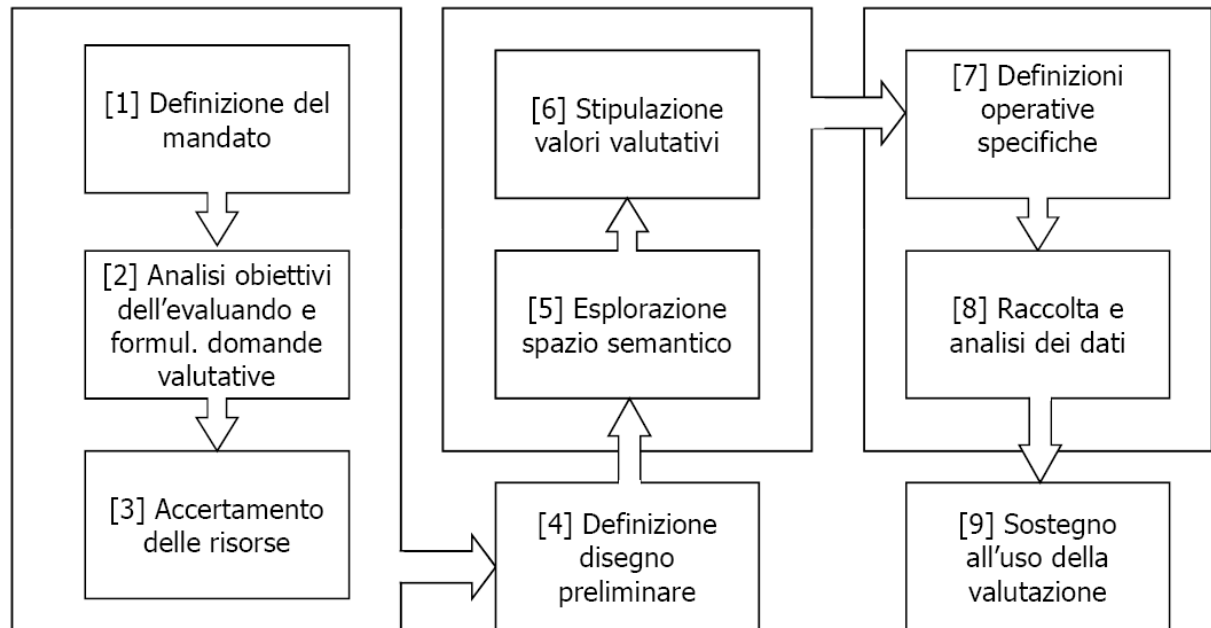



Fig. n°1.6, Gli Step della ricerca valutativa (adattato da BEZZI, 2003b).

Dopo i primi due punti, sui quali abbiamo già riflettuto, si passa all'accertamento delle risorse disponibili. Questa è una attività spesso trascurata; la perfetta conoscenza delle risorse di personale, economiche, dei tempi a disposizione e anche delle capacità tecniche da poter mettere in campo guida la scelta del disegno preliminare fin dall'inizio del processo valutativo. In questa fase rientra anche la raccolta dei metadati che stanno alla base del processo valutativo: per poter scegliere la strada più opportuna è necessario sapere quali sono le informazioni disponibili.

Il disegno preliminare della ricerca valutativa è la risposta ad alcune domande fondamentali quali la chiarificazione dell'evaluando e la costruzione di un sistema valoriale dell'evaluando. La risposta alla prima domanda è da ricercare nel rapporto del valutatore con l'oggetto di valutazione: una buona conoscenza del mandato e delle domande valutative è fondamentale per tale comprensione. In questa fase, il rapporto con gli attori interessati deve essere costante al fine di mettere in campo una definizione condivisa dell'evaluando e dei suoi insiemi valoriali, ossia della qualità che lo caratterizzano e che sono oggetto della valutazione. Non si deve avere la pretesa di spiegare l'intera complessità dell'evaluando ma si devono esplicitare, tramite un processo partecipativo di creazione della conoscenza, gli elementi condivisi sui quali basare la valutazione, pena la non significatività della stessa. Una volta definiti gli insiemi valoriali si può andare all'interno dei nostri metadati e recuperare quelli che

possono essere adatti a misurarli; naturalmente anche nella definizione degli insiemi valoriali si deve tenere conto di quali sono le caratteristiche che abbiamo la possibilità di misurare: è inutile e dannoso per la costruzione dell'area condivisa di partecipazione proporre qualità che non si è in grado di misurare quanto - qualitativamente.

A questo punto si può attingere al repertorio di tecniche di trattamento dei dati che fanno riferimento a discipline di natura scientifica molto diversa (ricerca sociale, della statistica multivariata, della modellistica, ingegneria) ma con la profonda convinzione che tale tecnica altro non è che una protesi della nostra capacità di osservazione e che come tale ne dovrebbe riprodurre i percorsi logici. La procedura deve essere aperta e flessibile per adattarsi ai casi particolari che sempre si presentano, e per permettere una completa trasparenza dell'iter valutativo. Qualunque sia la tecnica utilizzata contiene al suo interno un'ampia componente di discrezionalità, quindi non esiste una tecnica perfetta ma una condivisa o condivisibile (BEZZI 2003c).

Una volta scelta la tecnica condivisa, non resta che applicarla e prepararsi alla interpretazione dei risultati in maniera che essi possano essere i più significativi possibili per gli attori coinvolti e possano rispondere alle domande valutative poste. Le fasi non devono essere ritenute come compartimenti stagni ma sono in continuo dialogo tra loro alla ricerca di una procedura adatta al caso particolare; anche tecniche molto collaudate hanno necessità di adattamenti quando applicate al caso specifico perché si devono raffrontare con mandati non chiari, domande valutative assenti o inespresse, attori non sempre capaci di esplicitare le proprie richieste o dati di base mancanti ed incompleti. L'atteggiamento del valutatore deve essere in continuo rapporto dialogico con gli elementi del processo valutativo e procedere con atteggiamento maieutico alla formazione dello stesso.

1.3 Conclusioni

Nel nostro specifico caso di studio si discuterà a lungo sull'intrinseca inconoscibilità dell'evaluando, ossia si vedrà come, nella programmazione di piani e programmi per il miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici ci si scontri con una sostanziale inconoscibilità dei dati che caratterizzano il problema. Le caratteristiche di efficienza energetica del patrimonio edificato non sono facilmente conoscibili ad una scala utile al progetto urbano; queste possono essere calcolate analiticamente per ogni edificio o desunte, in maniera aggregata, direttamente dai consumi registrati alla scala territoriale, ma difficilmente se ne otterrà una articolazione capace di esplicitare le peculiarità delle diverse parti della città. Inoltre la complessità generata dall'interazione tra le opportunità delle nuove tecnologie e l'insieme delle leggi e delle competenze che governano le trasformazioni urbane non semplifica l'individuazione di valori comuni e pratiche condivise su cui basare la valutazione tra diverse ipotesi di trasformazione della città.

Non potendo conoscere con precisione questi aspetti, alcuni per altro molto tecnici, il processo decisionale sarà fortemente non strutturato e dovrà ricorrere ad approcci iterativi per individuarne le possibili soluzioni. La metodologia proposta si riferisce a questo paradigma di razionalità limitata, e propone un tool GIS per facilitare l'apporto degli esperti e degli attori del processo nella formazione del quadro conoscitivo condiviso e nella formulazione e valutazione delle ipotesi di intervento.

Riferimenti Bibliografici

A.Gilpin, (1995), *Environmental Impact Assessment (EIA): Cutting Edge for the Twenty-First Century*, Cambridge, England, Cambridge University Press, p.31 e p.169.

Alessandra Penna (2007); *Criteri ed indirizzi per la predisposizione del monitoraggio nella VAS*, in *La valutazione Ambientale Strategica (VAS) e gli strumenti di piano e di progetto: Aspetti giuridici, Strumenti e contenuti, Casi ed Esperienze, Paesaggio e aree Protette*; di Loreto Colombo, Salvatore Losco, Cristoforo Pacella; Le Penseur 2008

Alessandro Bonifazi e Carlo Rega (2007); *L'efficacia ricostruita: qualità della VAS fra valutabilità del piano e conoscibilità dell'ambiente*; Convegno Questione Ambientale e Strumenti di Piano e di Progetto, 12-13 dicembre 2007, Napoli.

Angela Poletti, Fulvia Pinto (2007); *Valutazione ambientale strategica e governo del territorio: esperienze in lombardia;*Convegno Questione Ambientale e Strumenti di Piano e di Progetto, 12-13 dicembre 2007, Napoli.

Bresciani Giovanni (2000), "I problemi di valutazione degli interventi di orientamento", in Maura Franchi e Mauro Palumbo (a cura di), La valutazione delle politiche del lavoro e della formazione, "Sociologia del lavoro" n. 77, Franco Angeli, Milano

Bruschi Alessandro (1999), Metodologia delle scienze sociali, Bruno Mondadori, Milano

Chiara Rosnati, Virginio Bettini e Chiara Porcu (2007) *La VAS in pratica: primi passi in Italia. Riflessioni su alcuni casi studio* in LA VALUTAZIONE AMBIENTALE NEI PIANI E NEI PROGETTI (a cura di) Loreto Colombo, Salvatore Losco, Cristoforo Pacella; Le Penseur 2008

Claudio Bezzi (2003a), *Disegno della Ricerca Valutativa,* Franco Angeli Milano 2003

Claudio Bezzi (2003b); *Dalla comprensione dell'evaluando alla costruzione degli Indicatori*; sezione monografica RIV n. 27/2003

Claudio Bezzi (2003c), "Cosa valutiamo, esattamente?"*, Rassegna Italiana di Valutazione*, n. 27, pp. 49-73.

Claudio Bezzi (2007); *Contesto come testo e metodo valutativo come linguaggio***;** Decimo congresso AIV: guardare dentro e guardare oltre: dieci anni di valutazione italiana; ROMA, 19-21 APRILE 2007.

E.Odum William, (1982); *Environmental Degradation and the Tyranny of Small Decisions, BioScience*, vol.32 N.9, Issues in Biology Education, pp.728-729.

Eduardo Caliano (2007*); I modelli di VAS come rinnovato approccio alla pianificazione ed alla gestione del territorio*; Convegno Questione Ambientale e Strumenti di Piano e di Progetto, 12-13 dicembre 2007, Napoli

Fischer T. B., Gazzola P. (2006). "SEA effectiveness criteria-equally valid in all countries? The case of Italy", *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 26 (4), pp. 396-409

Lanzara Giovan Francesco (1985), *La progettazione come indagine: modelli cognitivi e strategie di azione*, Rassegna italiana di sociologia, XXVII, 3, 1985

Lanzara Giovan Francesco (1993), *Capacità negativa. Competenza progettuale e modelli di intervento nelle organizzazioni*, Il Mulino, Bologna

Lindblom, C.E. (1959);*The Science of Muddling Through*, Public Administration Review, Vol. 19, No. 2: 79-88.

Marcello Magoni (2007);*La valutazione ambientale strategica di piani: i casi del PTCP di Cremona e del PRG di Madesimo*; Convegno Questione Ambientale e Strumenti di Piano e di Progetto, 12-13 dicembre 2007, Napoli.

Means (1999), *Evaluating socio-economic programmes*, 6 voll., European Commission, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Nigris Daniele (2003), *Standard e non-standard nella ricerca sociale. Riflessioni metodologiche*, Franco Angeli, Milano

Rossi Peter H., Howard E. Freeman e Mark W. Lipsey (1999), *Evaluation*. A Systematich Approach, 6th ed., Sage, Thousand Oaks, CA

Schütz Alfred (1962), *Collected Papers*, The Hague, Martinus Nijhoff, vol. I.

Scriven Michael (1999), *Evaluation Thesaurus*, 4th Ed., Sage, Newbury Park, CA.

Stame Nicoletta (2002), *La valutazione realistica: una svolta, nuovi sviluppi*, in Antonio Fasanella e Nicoletta Stame (a cura di), *Realismo e valutazione*, Franco Angeli, Milano

Stame Nicoletta (2004), “Theory-based Evaluation and Varieties of Complexity”, *Evaluation*, vol.10, n. 1, pp. 58-76

Capitolo 2

Sistemi di Supporto alle Decisioni e processo decisionale

2.1 Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS)

È stata rimarcata nel precedente capitolo l'importanza della valutazione e della partecipazione all'interno del processo di formazione di un piano, e di come queste concorrano alla corretta definizione di obiettivi ed azioni del programma stesso. I decisori sono chiamati, in tempi spesso molto contenuti, a fare scelte importanti basandosi su una conoscenza limitata delle dinamiche territoriali e rispondendo ad interessi non sempre chiari e univoci da parte degli attori coinvolti. La partecipazione contribuisce alla costruzione di un insieme valoriale condiviso dagli attori coinvolti su cui impostare il processo valutativo ed in base al quale prendere le decisioni. In questo processo di analisi e sintesi della conoscenza vengono coinvolti linguaggi molto diversi appartenenti sia a discipline scientifiche specialistiche che a saperi non esperti, rendendo la comunicabilità della conoscenza uno degli aspetti cruciali del processo di sintesi decisionale. L'interazione tra questi richiede metodi di comunicazione capaci di semplificare la conoscenza specifica, spesso caratterizzata da una notevole complessità e ricchezza di contenuti, senza perdere gli aspetti importanti ai fini del processo decisionale. Accanto a questo aspetto qualitativo si può anche riconoscere un limite quantitativo che consiste nella effettiva capacità della mente umana di prendere in considerazione ed analizzare informazioni complesse caratterizzate da grande numerosità o incertezza.

Nel 1960 J.C.R. Licklider, con un'affermazione che guiderà la ricerca in questo campo per decadi, vede l'interazione tra uomo e computer come un miglioramento, sia in qualità che in efficienza, della capacità umana di risolvere problemi. Una successiva definizione, formulata da Keen (1978), focalizza anche sul tipo di processo decisionale: "*Decision support systems couple the intellectual resources of individuals with the capabilities of the computer to improve the quality of decisions. It is a computer-based support system for management decision-makers who deal with semi-structured problems"* (KEEN, 1978).

Henk (1987) mostra come la definizione e la portata dei DSS sia cambiata negli anni: nel 1970 erano descritti come "un sistema computerizzato di aiuto alla decisione" mentre dalla fine del decennio ci si focalizzava sempre più sull'aspetto dell'interazione del sistema con i decision makers e sulla capacità di utilizzare data base e modelli per risolvere processi decisionali strutturati o non strutturati.

Si possono quindi individuare tre tipi di processi decisionali in base alla loro natura (TURBAN, 2005):

a) *structured decision problem:* casi dove i dati del problema, cosi come i metodi per la loro risoluzione, sono noti o analiticamente ricavabili in un'ottica di ottimizzazione del sistema;
b) *unstructured decision problem:* casi dove i dati del problema non sono noti o possiedono un forte grado di incertezza, cosi come i metodi di risoluzione presentano forti aspetti che coinvolgono le capacità umane discrezionali e intuitive per arrivare alla decisione;

c) *Semi-structured decision problem:* casi dove sono presenti entrambi gli aspetti in cui è possibile utilizzare procedure di ottimizzazione per la strutturazione della decisione ma permangono forti aspetti discrezionali nella scelta definitiva della soluzione.

Nel caso dei problemi strutturati i DSS possono riuscire ad individuare con efficacia una soluzione ottimale, mentre negli altri due casi possono contribuire alla formazione della conoscenza dei decisori o amplificare le loro capacità esplorative e previsionali della realtà presentando alternative verosimili tra le quali la scelta mantiene sempre un certo carattere di discrezionalità. *Il processo decisionale è un ragionamento razionale o irrazionale che può essere basato su esplicite o tacite assunzioni.* (Simon, 1955)

Un'altra classificazione dei problemi decisionali è basata sul livello della decisione viene proposta da Anthony nel 1965: *Strategic planning*: stabilire politiche, fissare obiettivi, selezionare risorse, in un'ottica del lungo periodo con un alto grado di incertezza; *management control*: assicurare efficacia nell'acquisizione e uso delle risorse, in un'ottica di medio termine; *operational control*: assicurare l'efficacia delle svolgimento delle operazioni, generalmente facilmente affrontabile con l'ausilio di strumenti computerizzati.

Partendo da questi due aspetti e riferendosi ai contesti decisionali di tipo economico aziendale, Turban (2005), propone un'articolazione dei tipi di supporti tecnologici alla decisione, evidenziando come la grande varietà degli strumenti esistenti dipenda dalle caratteristiche del problema (fig.n°2.1). La matrice proposta nella figura riporta per colonna la classificazione di Anthony (1965) e per riga quella sui tipi decisionali; nelle caselle vengono inserite le tipiche attività decisionali che interessano il management aziendale. Ai margini della tabella sono riportati i tipi di tecniche generalmente utilizzate per la risoluzione dei problemi decisionali specificati nelle caselle della matrice.

Senza entrare nel dettaglio delle tipologie di supporti tecnologici mostrati da Turban (2005) si può però notare come allo specifico problema decisionale corrispondano specifici supporti tecnologici che, pur mantenendo una certa flessibilità e replicabilità nel metodo, sono caratterizzati da una forte variabilità propria del tipo di decisione richiesto, del tipo di dati trattati e dell'utente coinvolto. *I DSS comprendono varie tipologie: nel processo decisionale sono coinvolte varie tipologie di decisioni (problemi di ottimizzazione, ordinamento di alternative, decisioni sequenziali…) e vari tipi di dati che prevedono distinte modalità di elaborazione.* (MOCENNI,2008)

	Type of Control			
Type of Decision	Operational Control	Managerial Control	Strategic Planning	Technology Support Needed
Structured	1 Accounts receivable, account payable, order entry	2 Budget analysis, short-term forecasting, personnel reports, make-or-buy	3 Financial management (investment), warehouse location, distribution systems	Management information system, management science models, transaction processing
Semistructured	4 Production scheduling, inventory control	5 Credit evaluation, budget preparation, plant layout, project scheduling, reward system design, inventory categorization	6 Building new plant, mergers and acquisitions, new product planning, compensation planning, quality assurance planning, HR policies, inventory planning	DSS, KMS, GSS, CRM, SCM
Unstructured	7 Selecting a cover for a magazine, buying software, approving loans help desk	8 Negotiating, recruiting an executive, buying hardware, lobbying	9 R & D planning, new technology development, social responsibility planning	GSS, KMS ES, neural networks
Technology Support Needed	Management information system, managment science	Management science, DSS, ES, EIS, SCM CRM, GSS, SCM	GSS, CRM EIS, ES, neural networks, KMS	

Fig n°2.1, matrice per l’individuazione dello strumento adatto in funzione dell’indeterminatezza e dello scopo del processo decisionale. (TURBAN, 2005)

L’approfondimento delle tecniche di supporto alla decisione in uso in ambito economico e gestionale non è oggetto di questa tesi. In questo capitolo si inquadra l’uso dei DSS nei processi decisionali riguardanti il territorio nelle sue componenti biotiche e abiotiche, caratterizzate da una forte influenza della dimensione spaziale, dalla complessità degli obiettivi e dei valori in gioco e da una conoscenza sempre parziale dei dati del problema. Si incomincia con una rapida descrizione di alcune definizioni tassonomiche dei DSS, ritrovabili in letteratura (ALTER 1980, TURBAN 2005; POWER 2002), al fine di sottolinearne la grande versatilità e riassumerne le principali applicazioni. Dopo un breve focus sull’architettura generale dei DSS, si focalizzerà l’attenzione sugli strumenti utilizzati come supporto alla risoluzione degli ill-structured problems riguardanti il territorio affrontando le principali tematiche che li specificano rispetto alle definizioni generali: la dimensione spaziale, la valutazione tra alternative e la dimensione partecipativa. In particolare per primo si mostrerà l’influenza della dimensione spaziale negli strumenti di supporto alla decisione, dalla definizione degli Spatial Decision Support System (SDSS) (DENSHAM 1991, SPRAGUE E CARLSON 1980,1983) alla più recente straordinaria evoluzione dei Geographic Information System (GIS) (MENNECKE. 1997, AIRINEI 2010, MURPHY 1995, COOKE, 1992, TURBAN 1995). Il secondo approfondimento riguarderà l’integrazione tra le tecniche di Analisi Multicriteri, sviluppate per la valutazione delle alternative o degli scenari progettuali negli ill-structured

decision problems, con i GIS, nati per la gestione e la trasformazione di dati territoriali (MALCZEWSKI 1999; DE MONTIS 2001; KEENEY 1992; HWANG,YOON, 1981; ASCOUGH, 2002). Come terzo aspetto si riporteranno alcuni contributi inerenti le tematiche dello sviluppo di GIS come strumenti per il supporto alle dinamiche partecipative dei processi decisionali integrate in interfacce web (DAY 1997;LANGTON 1978; THOMAS 1995, SCHLOSSBERG, 2005; MALCZEWSKI 1999; CARVER AND PEEKHAM 1999, JANKOWSKI AND NYERGES 2001, DRAGIĆEVIĆ AND BALRAM 2004; BOROUSHAKI, 2010). Nelle conclusioni, vista la limitatezza del quadro proposto rispetto alla vastità degli argomenti richiamati, si cercherà di focalizzare gli aspetti che dovrebbero guidare l'implementazione di un DSS con un spirito operativo di sintesi funzionale allo sviluppo del DSS oggetto della ricerca.

2.2.1 Una definizione tassonomica

Dagli anni '60, partendo dalla ricerca di applicazioni in campo economico-gestionale e militare, si assiste allo sviluppo di una grande quantità di Decision Support System in ambiti d'applicazione diversificatisi di pari passo con il progresso informatico, che ha permesso l'implementazione di sistemi sempre più complessi [POWER, 2007].

Proprio per la grande varietà di applicazioni e di campi della scienza che fanno uso di sistemi computerizzati di aiuto alla decisione, non esiste una tassonomia univocamente riconosciuta che li possa descrivere sotto tutti gli aspetti; spesso questi assumono nomi specifici a seconda dei tipi di modelli o di dati che sono in grado di utilizzare.

Una definizione ampia *definisce come DSS qualunque mezzo permetta di affrontare, valutare e risolvere un problema in modo più semplice, più efficiente o più rapido, generalmente appoggiandosi alle capacità di calcolo di un elaboratore elettronico [….]*; mentre limitandosi alla tipologia di sistemi basati su strumenti informatici, accezione largamente preponderante, si può dire che *un DSS è un'architettura informatica che aiuta l'utente a prendere decisioni, ma senza sostituirsi a esso. Questo sistema, automatizzato attraverso procedure interattive, fornisce al decisore: la disponibilità di tutte le informazioni necessarie per la comprensione del problema; la possibilità di esplorare i dati secondo diversi punti di vista in base alle esigenze dello stesso utente; la possibilità di valutare gli scenari conseguenti alle scelte.* (MOCENNI, 2008)

Nel 1980 Alter, come esito della sua ricerca inerente lo studio di 56 DSS, propone una classificazione basata sulle generiche operazioni possibili con lo strumento informatico. In base a queste individua sette classi che partono dai sistemi fortemente orientati alla trattazione e la strutturazione delle informazioni fino ai modelli interattivi per la scelta tra alternative:

- *File drawer systems*: prevedono l'accesso ad un data base;
- *Data analysis systems:* permettono la manipolazione di dati con strumenti computerizzati per specifiche o generali operazioni;

- *Analysis information systems*: permettono di accedere a database orientati alla scelta delle decisioni e all'uso di semplici modelli;
- *Accounting and financial models*: permettono di calcolare le conseguenze di alcune azioni possibili;
- *Representational models*: permettono di stimare le conseguenze delle azioni sulla base di un modello di simulazione;
- *Optimization models*: forniscono linee guida per le azioni necessarie al raggiungimento di una soluzione ottimale basata sui vincoli del processo decisionale;
- *Suggestion models*: strutturano un processo logico per guidare verso una specifica decisione in un processo non strutturato o non ben conosciuto.

In un recente contributo POWER (2002), sviluppando la sua definizione tassonomica dei DSS, propone una categorizzazione riferita al tipo di strumenti utilizzati per realizzare il supporto alle decisioni, ossia:

- *Model-Driven DSS:* fanno uso di modelli creati per simulare l'andamento di fenomeni reali: l'elemento caratterizzate è l'algoritmo di calcolo, che rende sì necessario l'inserimento di una certa quantità di dati in ingresso ma non richiede abitualmente l'utilizzo di vasti database per il proprio funzionamento: per esempio sistemi che includono modelli finanziari, modelli di processo o rappresentativi, modelli di ottimizzazione.
- *Data-Driven DSS*: l'informazione in questo caso è ottenuta tramite funzionalità di ricerca, estrazione e manipolazione di dati già noti; permettono di accedere a database di dati strutturati, come ad esempio serie storiche di dati riguardanti l'azienda, sia interni che esterni.
- *Communications-Driven DSS*, sono così detti in quanto strumenti pensati per agevolare la comunicazione interpersonale e la visualizzazione di idee e contenuti: ad esempio un sistema interattivo finalizzato alla risoluzione di problemi da parte di un gruppo di decisori che lavorano in gruppo.
- *Document-Driven DSS*: hanno lo scopo di facilitare e razionalizzare l'accesso e l'analisi di documentazione, specialmente nei casi in cui essa sia particolarmente estesa per dimensione e articolazione: per esempio possono supportare i managers nella ricerca, classificazione e gestione di documenti non strutturati attraverso pagine web quali politiche e procedure, cataloghi, documenti storici, verbali e corrispondenza.
- *Knowledge-Driven DSS*: *fanno uso di interazioni uomo macchina o di sistemi di intelligenza artificiale (appoggiandosi spesso a database relazionali) per costituire dei sistemi in grado di suggerire azioni o risposte a problemi complessi.* (POWER, 2007)

Spostando l'attenzione sull'utente finale Haettenschwiler (1999) individua tre categorie a seconda del tipo di interazione del DSS con gli attori del processo decisionale. Propone una prima divisione tra *passive DSS*, quando il sistema contribuisce al processo decisionale senza però darne una esplicita risoluzione, e *active DSS*, quando, al contrario, il sistema produce chiari suggerimenti o soluzioni al problema decisionale. A queste due categorie si aggiunge quella del *cooperative DSS* dove il sistema è in grado di pervenire ad una soluzione tramite processi ciclici di raffinamento progressivo basati su un continuo feed-back con gli attori del processo decisionale.

Altre tassonomie possono essere proposte ad esempio in base alla dimensione del sistema o del data base che il DSS è in grado di trattare: un *desktop DSS* è uno strumento di portata limitata capace di funzionare in PC individuali, mentre un *enterprise-wide DSS* è un sistema che tratta una grande mole di

dati e collega più utenti; nel caso poi il DSS sia predisposto per l'uso remoto tramite interfaccia web si può parlare di *Web-based DSS* [POWER, 2007, 1997].

Naturalmente le classificazioni proposte, concentrandosi su aspetti specifici dei DSS, portano a semplificazioni che non trovano corrispondenza nella realtà dove spesso gli strumenti presentano aspetti tassonomici diversi non sempre inquadrabili in maniera univoca.

2.2 L'architettura di un DSS

Se la definizione di una tassonomia univoca sembra essere un argomento ancora aperto, si osserva, al contrario, un sostanziale accordo nella definizione delle parti fondamentali costitutive di un DSS a prescindere dal tipo di decisione per il quale sia stato sviluppato (SPRAGUE 1982) (fig. n°2.2): il *Knowledge System, il Problem Processing System* e *l'User System Interface*. Un quarto componente può essere considerato l'End User stesso (MARAKAS, 1999), ossia il fruitore del sistema: il DSS deve essere capace di interpretare la conoscenza in modo che l'End-User possa interrogare il data base e comprenderne i risultati limitando l'aiuto di un utente esperto.

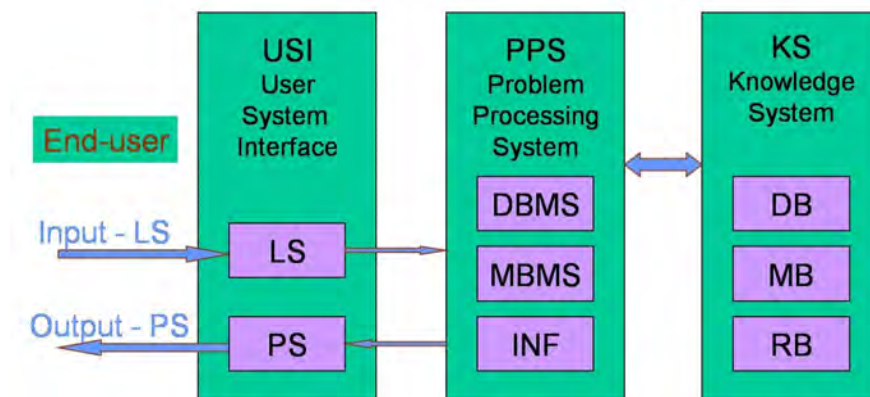



Fig. n°2 schema generale delle componenti di un DSS (MOCENNI, 2008)

Il modulo KS contiene tutte le informazioni relative al problema in esame quali documenti, dati strutturali, progetti, cartografia georeferenziata; nonché una libreria di strumenti routine di trattamento dei dati quali operatori statistici e modelli matematici[1]. Il modulo PPS è il cuore del sistema e manipola le informazioni fornite del KS grazie ad una serie di procedure che amplificano la capacità di analisi dell'operatore, senza però sostituirsi ad esso[2]. L'ultimo modulo pone l'accento sull'interazione con

[1] Il modulo KS contiene tutte le informazioni relative al problema in esame ed è costituito da: DB, Record di dati quantitativi e strutturati (contabilità, demografici,…), Informazioni testuali, Dati geo-referenziati,Materiale di progetto assistito da calcolatore (CAD); MODEL-BASE, Routine statistiche (regressione, analisi di varianza, processi stocastici,…), Modelli matematici, Modelli di simulazione (previsione), Modelli di gestione (programmazione lineare,…); RB: RULE-BASE (BASE DI CONOSCENZA), Regole e relazioni logiche per l'inferenza qualitativa Relazioni probabilistiche destinate alla rappresentazione di concetti fuzzy.

[2] Il modulo PPS manipola le informazioni del KS per generare risposte utili al processo decisionale attraverso l'interfaccia ed è costituito da:

l'utente finale che deve essere in grado di fornire dati, generare interrogazioni ed interpretare i risultati in maniera adeguata alle proprie conoscenze del sistema e dell'oggetto dello studio[3].

Focalizzandosi quindi sulle attività che il DSS deve supportare si possono individuare quattro elementi chiave (DEMAREST, 2005):

a) *il decision maker*: ossia l'individuo o il gruppo che ha in carico la specifica decisione;
b) *il set di dati di inputs necessari al processo decisionale*: ossia dati, modelli numerici o qualitativi per l'interpretazione di tali dati, esperienze similari da cui prendere spunto, vincoli culturali, normativi, tecnici associati al processo decisionale;
c) *il processo decisionale stesso*: la serie delle fasi, passo dopo passo, per la trasformazione degli input in output adatti alla decisione;
d) *gli output del processo decisionale*: ossia la decisione stessa e un set di criteri adatti alla sua valutazione in rapporto agli obiettivi ed ai bisogni iniziali e quelli eventualmente evidenziati dal processo decisionale.

2.3 DSS nella pianificazione territoriale

I DSS si sono sviluppati come strumenti di ausilio alle scelte e alla programmazione nei più svariati settori, tra cui quello ambientale e della pianificazione territoriale.

Quando la decisione interessa un processo di piano, il decisore si trova spesso di fronte a *unstructured or semi-structured decision problems* (*ill-structured problems*) dove spesso gli obiettivi del processo decisionale stesso non sono chiari o presentano caratteri di conflittualità. *Decision makers faced with a complex spatial problem often have multiple conflicting objectives for its solutions. To be acceptable a solution must reconcile these conflicting goals.* (DENSHAM 1991)

La necessità di rapportarsi con stakeholder, aventi diversi e conflittuali interessi, e la dimensione spaziale del territorio, con la sua molteplicità di temi e scale di osservazione, non permettono l'uso di

---

DBMS: DATA-BASE MANAGEMENT SYSTEM, Pacchetto di software progettato per facilitare la gestione della base di dati;
MBMS: MODEL-BASE MANAGEMENT SYSTEM , Pacchetto di software progettato per facilitare la gestione della base di modelli quali: Catalogazione dei modelli, Aggiornamento e cambiamento rapido del MB, Creazione di una directory contenente le informazioni sui modelli disponibili, Accesso al MB, Gestione del recupero dei dati necessari per l'elaborazione, Generazione, estrazione e aggiornamento dei parametri richiesti dai modelli, Creazione di nuovi modelli, Conduzione di analisi di sensitività del tipo what – if;
MOT.INF.: MOTORE INFERENZIALE, Funzioni di intelligenza artificiale destinate alla gestione della base di conoscenza; Uso di regole e asserzioni per inferire nuovi fatti attraverso l'euristica; Uso di meta-regole (regole riguardanti l'uso delle regole) ad esempio usate per decidere quale regola utilizzare quando più di una può essere applicata a una situazione particolare; Preparazione di una spiegazione chiara, consistente e logica della relazione che lega l'input all'output, spesso difficile da percepire in un sistema che impiega trasformazioni complesse.
[3] USI: Meccanismo di interazione principale tra utente e sistema, costituito dall'LS - LANGUAGE SYSTEM (FUNZIONI DEL LINGUAGGIO), Gestisce l'input: l'utente inserisce i dati ed eventualmente sceglie i modelli da applicare e dall'PS - PRESENTATION SYSTEM (FUNZIONI DI RAPPRESENTAZIONE) Gestisce l'output: il DSS presenta le proprie risposte sotto forma di tabelle, grafici, grafi, tavole tematiche.

semplici algoritmi di ottimizzazione conferendo una insolita dimensione complessa al processo decisionale. Secondo Armstrong (1986) si possono usare modelli, anche matematici per una parte del processo decisionale, ovvero per la costruzione di possibili alternative da valutare rispetto a un set di criteri condivisibili per produrre una soluzione che, a questo punto, non sarà l'ottimale ma sarà *soddisfacente* (SIMON 1955) rispetto ad una serie di criteri e giustificabile rispetto alle prospettive soggettive degli attori del processo.

La complessità riguarda sia la natura soggettiva del processo decisionale che l'insieme multidimensionale dei dati territoriali. Davis (1984) rileva che, dallo studio della letteratura, si dimostra che differenti persone di fronte ad uno stesso *unstructured problem* adotteranno una diversa strategia per la scelta della decisione: daranno dei diversi valori alle variabili ed alle relazioni tra esse e sceglieranno le informazioni da utilizzare in maniera differente.

Si possono ritrovare in letteratura numerosi esempi di utilizzo di strumenti di natura informatica come Sistemi di Supporto al Piano (SSP) che sono sorti per implementare il processo decisionale nei suoi aspetti di sintesi della conoscenza, attività valutativa oppure di comunicazione partecipativa. Da tale vasta letteratura si possono distinguere due definizioni riferibili al tipo di supporto che possono fornire al piano (CAMPAGNA, 2006, BRAIL e KLOSTERMAN 2001, GEERTMANN E STILLWELL 2002): un'accezione *Hard* e tecnologica, per la quale è possibile definire un SSP come un sistema computerizzato, o un'integrazione di vari sistemi computerizzati, in grado di supportare un giudizio o valutazione; un accezione *Soft* del termine dove lo strumento non può essere ridotto ad un semplice insieme di applicazioni informatiche ma è concepito come direttamente originato dall'analisi del processo complessivo, dell'ambiente di decisione e della situazione istituzionale di riferimento (DE MONTIS, 2005).

Per la crescente domanda di interattività dei processi decisionali che sottendono l'attività di piano nelle sue componenti valutative, partecipative e progettuali, è dunque osservabile la diffusione di Sistemi Interattivi di Supporto al Piano (SISP) che permettono l'interazione di un sempre più vasto numero di potenziali utenti appoggiandosi a interfacce user friendly e alla rete web incoraggiando la costruzione collaborativa della conoscenza condivisa di contesto. (MOON, 2003)

Gli strumenti, ad oggi in uso, spaziano dai GIS (*Geographical Information Systems*) ai modelli di simulazione, dai database disponibili online ai procedimenti di analisi multicriteri, fino a combinazioni degli stessi, facendo così ricadere sotto la comune definizione di DSS metodi diversi per tipologia e per ambito d'applicazione, contraddistinti da una maggiore o minore complessità nella propria struttura e da differenti potenzialità d'utilizzo. Questa varietà caratterizza in modo abbastanza omogeneo le diverse aree disciplinari per ognuna delle quali esistono testimonianze dell'utilizzo o della sperimentazione di DSS dedicati. (KERSTEN et al., 2000)

2.4 La dimensione spaziale: GIS e Spatial Decision Support System

Densham (1991) propone la definizione di Spatial Decision Support System (SDSS) quale *strumento esplicitamente progettato per supportare il processo di ricerca di una decisione a problemi complessi aventi componente spaziale*. Si sottolinea, in prima battuta, la differenza posta tra GIS e SDSS: per quanto il primo, grazie alla sua capacità di trattare, conservare, analizzare e rappresentare dati spaziali contenga nella sua definizione stessa l'idea di SDSS, viene considerato poco incidente all'interno del processo decisionale. I principali limiti del GIS sono da ricercare nella struttura fortemente orientata al trattamento dei dati spaziali inadatta alla modellizzazione dei problemi in maniera flessibile in relazione della specificità del processo decisionale. Quindi si identificano le caratteristiche peculiari che definiscono un SDSS rispetto a quelle dei DSS[4]:

- avere meccanismi per l'input di dati spaziali;
- permettere la rappresentazione di relazioni spaziali e strutture complesse, comuni nei dati di natura spaziale;
- includere tecniche analitiche dedicate ad analisi spaziali e geografiche;
- prevedere output nelle diverse tipologie di dati spaziali incluse mappe, grafici o altri tipi specializzati.

Si sottolinea la natura iterativa, integrativa e partecipativa del sistema, fondata su un reiterativo processo di raffinamento delle informazioni quantitative del giudizio di valore, vero output del processo.

Nonostante i DSS facciano spesso uso di comuni strumenti o modelli per l'analisi ed il trattamento dei dati, una peculiarità del processo decisionale riferito al territorio è la strutturazione di SDSS particolarmente orientati a risolvere il problema specifico.

Si può però cercare di definire una struttura comune ai SDSS partendo dalla letteratura dei DSS. Sprague e Carlson (1980,1983) identificano tre livelli dello sviluppo tecnico del sistema, che si costruisce tramite un processo di successivi affinamenti tra chi effettivamente implementa il sistema e chi ne fruisce degli output (fig. n°2.3). Parallelamente sono quindi individuabili vari ruoli, non necessariamente ricopribili da persone diverse, in funzione del livello di sviluppo tecnico del sistema.

Al livello più basso del SDSS si trova il *SDSS toolbox* dove sono raccolti tutti i componenti hardware e software utili alla trattazione dei dati spaziali e non: tale parte del sistema è implementata dal *toolsmith* che ha il compito di aggiungere o raffinare i componenti in funzione delle nuove necessità che si palesassero durante l'iter decisionale. Nel livello medio è presente il *SDSS generator* dove il

[4] VENGONO RICORDATE LE CARATTERISTICHE DEI DSS IN SEI PUNTI (GEOFFRION, 1983): STRUMENTO ESPLICITAM
DISEGNATO PER LA RISOLUZIONE DI ILL-STRUCTURED PROBLEMS DOVE GLI OBIETTIVI DEI DECISION MAKERS E IL
NON SONO BEN DEFINITI; POSSIEDE UNA USER INTERFACE POTENTE E SEMPLICE DA USARE; IL SISTEMA PERMETT
COMBINARE I MODELLI ANALITICI IN MANIERA FLESSIBILE; IL DSS ESPLORA LO SPAZIO DELLE SOLUZIONI POSS
STRUMENTI AL SUO INTERNO E SIMULANDO DIVERSE ALTERNATIVE; IL SISTEMA È IN GRADO DI SUPPORTARE VARI S
PUÒ IMPLEMENTARE NUOVI STRUMENTI SEGUENDO L'EVOLUZIONE DEI BISOGNI DELLO USER; IL SISTEMA PERMETTE
DEL PROBLEMA TRAMITE UN PROCESSO RICORSIVO - REITERATIVO DOVE NON ESISTE UN SOLO PERCORSO PO
RAGGIUNGIMENTO DEL GIUDIZIO.

technical supporter combina gli strumenti presenti nel toolbox per rispondere al problema specifico; qualora il processo decisionale evidenziasse altre necessità possono essere prese altre funzioni dal toolbox o se ne possono implementare di nuove. Al livello può alto è quindi presente lo *SpecificSDSS* , dove il *builder* configura gli strumenti del SDSS generator, già orientati alla risoluzione dello specifico problema, per relazionarsi con il processo decisionale ossia per strutturare la user interface. *L'intemediary* interagisce fisicamente con l'interfaccia del SDSS per inserire le istanze dei *decision maker* nel sistema e supportare l'interpretazione dei suoi risultati. Il processo di costruzione del SDSS si basa, già nella definizione costituiva stessa, su una dimensione iterativa incrementale che può contribuire indirettamente alla formazione della conoscenza e alla chiarificazione degli obiettivi degli attori del processo.

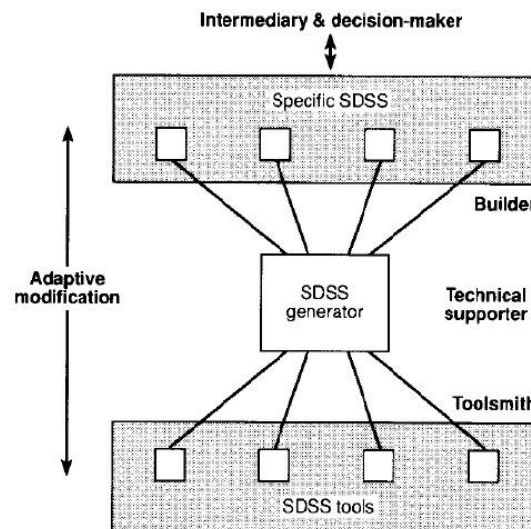



Fig. n°2.3, Sprague e Carlson (1980-1983) modificato da Densham (1991) schema dello sviluppo dello strumento tecnico SDSS

Densham (1991) riprende la struttura di Sprague (1980) e, specificandola per i SDSS, mantiene la divisione del software in moduli per la sua utilità ai programmatori (*toolsmith*, *builder, technical supporter*) ma sottolinea che per gli users del SDSS (*intemediary*, *decision maker)* il sistema appare nella sua interezza (fig. n°2.4). I moduli del software sono rappresentati con i riquadri, messi in contatto con le frecce che simboleggiano il flusso di dati. L'user interface comprende tutto il sistema perché è tramite essa che sia i tecnici che i decision maker interagiscono col sistema secondo i propri livelli di competenza. Gli output del sistema sono sia definizioni di alternative per la soluzione del problema, che semplici interrogazioni del data base rappresentabili tramite grafici e carte per facilitare l'attività valutativa dei decisori. Similmente ai DSS il DataBase Management System (DBMS) è il cuore del sistema contenendo tutta la base dati e le routine per la loro manipolazione: un DBMS deve essere in

grado di manipolare e conservare dati spaziali e non, di supportarne la visualizzazione cartografica e le interrogazioni del database a differenti scale territoriali, grado di risoluzione e livelli di aggregazione (DENSHAM,1991). I DBMS della maggior parte dei GIS sono basati su database relazionali, ma Armstrong e Densham (1990), partendo dalle esperienze ricavabili nell'ambito dei DSS, dimostrano che si possono efficacemente rappresentare molte forme di relazioni spaziali utilizzando *extended network model* come struttura dei dati (CHEN 1983). Probabilmente esistono tre approcci di complessità crescente alla modellizzaione nei SDSS. Il primo è il semplice uso delle capacità di trattamento dei dati presenti nel DBMS stesso come strumento di aiuto alla decisione: da una parte si ha il vantaggio della semplicità dello strumento, ma dall'altra questo presenterà limitate capacità di analisi e necessiterà di un forte apporto dell'*intemediary* che deve adattarne la rigidità alle richieste del processo decisionale. Un altro approccio è quello di sviluppare una libreria di routine che si possa facilmente combinare in maniera funzionale al processo decisionale: è disponibile un gran numero di applicativi per risolvere problemi di vario genere quali, analisi spaziali complesse, modellizzaione, analisi statistiche, problemi di ottimizzazione e quant'altro. Tale approccio crea librerie spesso molto onerose per la gestione del software a causa di un'estrema replicazione di codici comuni a più strumenti. Il moderno sviluppo di tale approccio consiste nella creazione di un MBMS che, similmente ai DBMS, contenga una serie di elementi capaci di combinarsi a piacimento qualora venisse richiesto di risolvere un dato problema. Si tratta di una libreria di piccoli codici "*atomic elements*" che risolvono uno step di un algoritmo più complesso. Così da una parte, si evita di replicare i codici comuni a più algoritmi risolutivi e, dall'altra, si rende più facile modificare le procedure risolutive, avendo la possibilità di potenziarne o sostituirne solo una parte. Il MBMS conterrà quindi anche le regole di combinazione degli *atomic elements*, al fine di richiamare gli algoritmi esistenti e ricavarne nuovi tramite semplici formule. Tale possibilità, insieme a quella di inserire nuovi *atomic elements*, rende lo strumento flessibile e permette di sviluppare SDSS molto specifici. Le capacità di base che devono essere presenti nel *Report Generator* sono la possibilità di generare mappe e grafici a partire dal database di partenza o dai risultati delle analisi svolte; a queste bisogna però implementare output specifici in modo da migliorarne l'efficacia all'interno dello specifico processo decisionale. Il decision maker vuole riceve informazioni in forma grafica o di tabelle, ma richiede anche una certa interattività dello strumento con il proprio sapere esperto. L'interfaccia dell'utente dei SDSS deve rappresentare due spazi: lo spazio obiettivo e lo spazio della mappa. Il primo, prevalentemente costituito da tabelle, visualizza i parametri del problema e l'interfaccia di gestione del processo risolutivo; mentre il secondo, tramite rappresentazioni grafiche e cartografiche, presenta gli output del SDSS tanto le semplici interrogazioni del database, quanto i prodotti delle analisi e del processo decisionale (DENSHAM,1991).

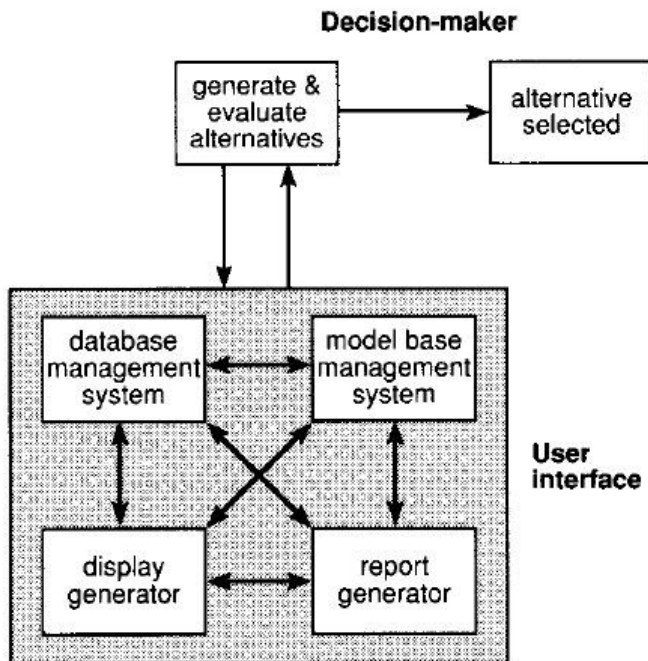



Fig. n°2.4, schema della struttura di un SDSS (DENSHAM 1991)

Le caratteristiche dei SDSS presentate da Densham e Sprague (1991, 1983) sono facilmente riscontrabili nelle piattaforme GIS di recente realizzazione tanto da rendere molto labile la differenza tra SDSS e strumenti GIS (MENNECKE. 1997, AIRINEI 2010, MURPHY 1995). Il GIS è uno strumento utilizzabile per la gestione e la strutturazione dei DBMS e dei MBMS capace di effettuare query sui dati ed analisi spaziali, che può essere integrato come parte costituiva di un SDSS (AIRINEI 2010). Il GIS presenta una sostanziale debolezza nel rapportarsi con gli ill-structured problems, sia a causa di un'interfaccia che richiede un utente di medie alte capacità per l'interazione, che per la limitata disponibilità di tool ed applicazioni al suo interno che sovente rende necessario spostarsi su altri software per risolvere alcune parti dello specifico problema decisionale (MURPHY 1995). Mennecke (1997), sottolineando l'importanza e la diffusione dei desktop GIS tra le istituzioni che si occupano della gestione del territorio, dimostra come gli strumenti attuali ricadano perfettamente nelle definizioni di DSS di Sprague e Turban (1983,1995) e come la loro struttura possa essere facilmente rappresentata come quella di un SDSS con un vastissimo ventaglio di campi di applicazione (fig. n°2.4). In particolare è in accordo con una definizione più restrittiva dei SDSSche li definisce come strumenti per analisi spaziali complesse, muniti di una efficace interfaccia con gli specifici attori del processo decisionale, ma caratterizzati da essere uno strumento chiuso dedicato ad un preciso processo decisionale (COOKE, 1992). Per questo motivo Mennecke (1997) preferisce la denominazione GIS per un DSS che abbia a che fare con problemi caratterizzati da una

dimensione territoriale complessa e ne propone una struttura generale sviluppata sulla base di quella proposta da Sprague e Turban[5] (1983,1995) (fig. n°2.5, n°6, n°2.7).

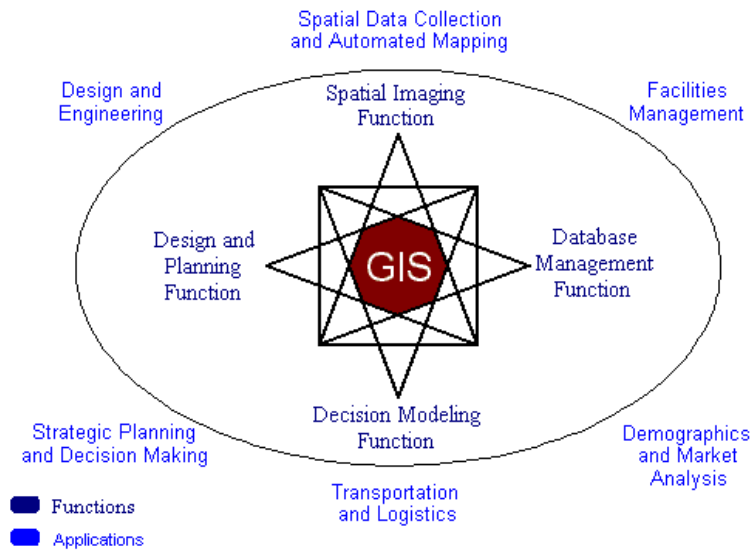



Fig. n° 2.5, tipi di funzioni e campi di applicazione dei GIS, (MENNECKE, 1997)

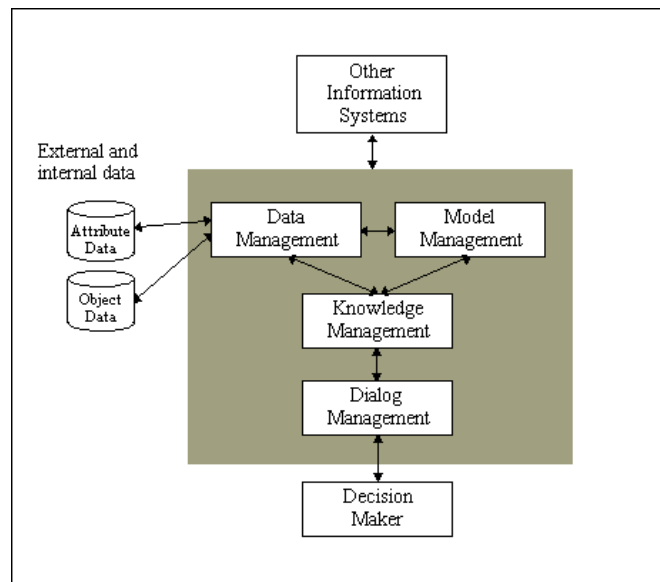



Fig. n° 2.6 Modello Concettuale di DSS dopo Turban (1995), (Mennecke, 1997)

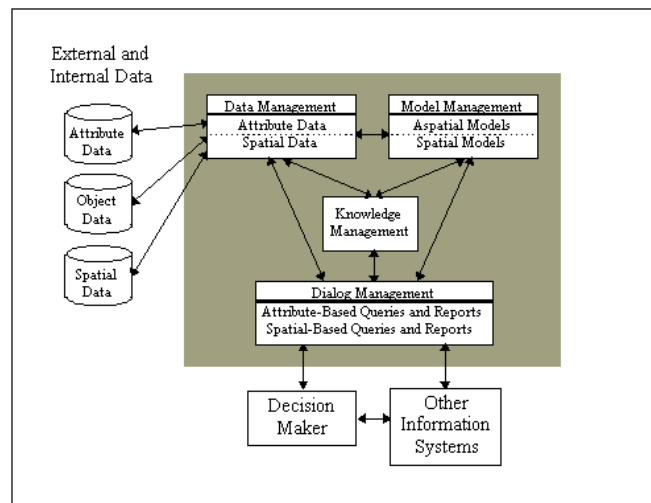



Fig. n° 2.7 Modello Concettuale di GIS usato per Strategic Spatial planing (MENNECKE, 1997)

Airinei (2010) confronta alcuni diversi strumenti per la strutturazione di un DSS riferito ad uno stesso problema decisionale[6] concludendo che le forti possibilità di integrazione tra diverse tipologie di strumenti software permettono di approcciasi alla strutturazione del DSS in maniera piuttosto flessibile, orientando la scelta degli stessi sulle richieste dei decision maker, i dati del problema e le risorse dello sviluppatore, anche combinando strumenti ed applicazioni già disponibili. Gli approccii GIS oriented o SDSS oriented possono essere sia complementari che alternativi; il loro uso efficace dipende dalle caratteristiche del problema decisionale.

2.5 La valutazione tra alternative: L'analisi Multicriteria nei SDSS

All'interno dello schema (fig. n°2.3) (SPRAGUE 1983, DENSHAM 1991) si possono inquadrare le numerosissime applicazioni, più o meno sofisticate, dei SDSS come strumenti di supporto al piano capaci di contribuire tanto alla ricerca della soluzione soddisfacente quanto alla costruzione della conoscenza stessa base al processo decisionale. Tale aspetto, tipico dei *ill-structured decision problems*, si ripercuote spesso anche nella scelta tra le alternative individuando nella fase di attribuzione di giudizi di valore uno dei maggiori punti di criticità del processo. Le metodologie di MultiCriteria Decision Analysis (MCDA) o MultiCriteria Decision Management (MCDM)[7] permettono di scoprire le preferenze

[6] Il problema ipotizzato consisteva nella l'eliminazione di alcuni elementi di una catena di magazzini sulla base di criteri economici pesati tramite un giudizio di valore. L'uso di diversi strumenti (GIS Microsoft MapPoint 2006, Microsoft Excel, applicazioni in Visual Basic specificatamente sviluppate) ha generato differenti strutture del DSS che hanno permesso rispondere a differenti richieste dei decision maker quali la visualizzazione di mappe, grafici, tabelle o l'inserimento di altri parametri di valutazione sempre in maniera molto efficace.

[7] Anche se, per gli scopi di questa trattazione, possiamo considerare i termini MCDA e MCDM come sinonimi; in realtà questi afferiscono a due diverse scuole di analisi multicrireria: L'MCDM fa generalmente riferimento alle prime esperienze della *American School* (KEENEY e RAIFFA, 1976) *che si basava* sulla teoria dell'utilità multi-attributo secondo la quale è possibile descrivere il sistema di preferenze individuali per mezzo di un'unica funzione, che assume valori diversi a seconda che si realizzino o meno conseguenze collegate alle diverse

e gli obiettivi dei decision makers in modo da ordinare le alternative secondo il grado di soddisfacimento di criteri o vincoli posti in partenza. L'analisi multicriteri è una delle più diffuse tecniche per l'ideazione e selezione della soluzione più soddisfacente in sistemi caratterizzati dalla presenza di obiettivi multipli e conflittuali, attributi numerosi anche con unità di misura incommensurabili[8] (HWANG,YOON, 1981). Perciò l'approccio è fortemente legato all'analisi degli obiettivi e delle preferenze dei decisori, infatti le caratteristiche comuni a queste tecniche possono essere (LAPUCCI 2005):

- *non tentano di analizzare diverse discipline in un'unica teoria generale, ma cercano di analizzare gli obiettivi attraverso la strutturazione di un problema complesso;*
- *esprimono i criteri per la selezione delle alternative in termini di traguardi specifici e non in termini di regole di base;*
- *la struttura ed il modello che soggiacciono all'articolazione degli obiettivi assumono un ruolo importante;*
- *l'approccio è strettamente legato all'analisi delle preferenze dei decisori*.[9]

Gli elementi costitutivi di un problema decisionale (Malczewski 1999) a criteri multipli sono quindi (fig, n°8):

- *gli obiettivi* che si vogliono raggiungere, siano essi di carattere prestazionale o legati a principi di natura più generale;
- *il gruppo di decisori*, che esprime le preferenze rispetto alle modalità di raggiungimento degli obiettivi ed ai criteri;
- *l'insieme di criteri o regole di valutazione*, sulla quale i decisori esprimono le loro preferenze tramite l'assegnazione di un peso: *un obiettivo è reso operazionale assegnandogli uno o più attributi che rendono il criterio misurabile qualitativamente e o quantitativamente* (Lapucci A 2005);
- *l'insieme delle alternative decisionali* che devono essere ordinate;
- *l'insieme dei risultati* esprimenti il valore dell'alternativa rispetto all'attributo considerato che danno origine ad una matrice di valutazione.

ALTERNATIVE (DE MONTIS ___); L'MCDA IN GENERE SI RIFERISCE ALLA SCUOLA FRANCESE (DI CUI È RITENUTO IL ROY, 1985) CHE HA SVILUPPATO METODI CHE RICHIEDONO LA COSTRUZIONE DI UNA RELAZIONE DI SURCLASSAMEN RELATION) FRA LE ALTERNATIVE TRAMITE UN SISTEMA DI CONFRONTO A COPPIE CHE VALUTA LA LORO EFFICACIA REALIZZARE GLI OBIETTIVI DESCRITTI NEI CRITERI DI GIUDIZIO (DE MONTIS ___).

[8] CHING-LAI HWANG AND KWANGSUN YOON (1981). MULTIPLE ATTRIBUTE DECISION MAKING. METHODS AND APPLICA A STATE-OF-THE- ART SURVEY: METHODS AND APPLICATIONS: A STATE-OF-THE-ART SURVEY. SPRINGER-VERLAG GMBH

[9] LAPUCCI A, SANTUCCI A. (2005) MU.S.A. (MULTICRITERIA SPATIAL ANALYSIS): IMPLEMENTAZIONE ED APPLICAZIONE VALUTAZIONE MULTICRITERI SU PIATTAFORMA GIS, IN ATTI DELLA 8° CONFERENZA UTENTI ESRI, ROMA, 20-21/04/2005

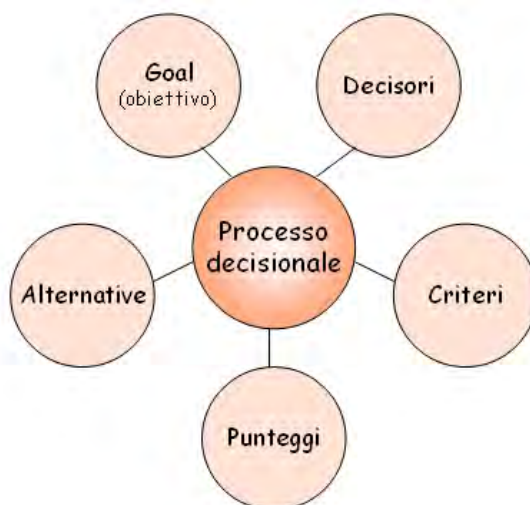



Fig. n°2.8, Elementi del processo decisionale

Un primo elemento sul quale definire una tassonomia delle tecniche MCDA è riferito al numero di alternative: queste possono essere infinite, quando siamo nell'ambito di una MCDA multi obiettivo, oppure predeterminate nelle MCDA multi attributo. Nel primo caso il numero di alternative non è predeterminato perché si tratta di un processo continuo che punta a creare la soluzione più soddisfacente tramite un processo iterativo di confronto con gli obiettivi forniti dal decisore ed i vincoli del problema. Al contrario, nel secondo caso siamo in presenza di un processo discontinuo dove vi è un insieme finito di alternative precostituite tra le quali definire una scala di preferibilità rispetto agli attributi forniti dai decisori: in questo caso il problema consiste nella selezione della "migliore" alternativa e non nella sua creazione (DE MONTIS 2001).

In modo similare Keeney (1992) individua due approcci differenti per la strutturazione di un processo decisionale uno focalizzato sulla generazione di alternative (alternative-focused approach) e l'altro focalizzato sull'identificazione dei valori e dei criteri per la valutazione (value-focused approach). Qualunque sia l'approccio la prima fase del processo non potrà prescindere dalla definizione preliminare di obiettivi e valori (fig. n°2.9), in quanto la generazione delle alternative si basa su un processo di raffinamento delle stesse in base a criteri precedentemente esplicitati.

Step	Approccio orientato ai valori	Approccio orientato alle alternative
1	Ricognizione del problema decisionale	Ricognizione del problema decisionale
2	Specificazione dei valori	Identificazione delle alternative
3	Generazione delle alternative	Specificazione dei valori
4	Valutazione delle alternative	Valutazione delle alternative
5	Scelta della migliore alternativa	Scelta della migliore alternativa
6	Raccomandazioni	Raccomandazioni

Fig. n°2.9, Confronto fra i momenti organizzativi di un modello multicriteri " focus-oriented " e di uno " alternative-oriented (KEENEY 1992)

Malczewski (1999) riporta gli elementi comuni a qualunque processo decisionale multicriteri in uno schema (fig. n°10) dove, partendo dagli obiettivi, i decisori individuano alcuni criteri di valutazione ed i loro relativi attributi; la matrice di valutazione (in azzurro nella figura) rappresenta i punteggi di ogni alternativa rispetto agli attributi scelti mentre il vettore dei pesi (in giallo nella figura) rappresenta le preferenze dei decisori tra i vari attributi valutativi.

GOAL

Decisore 1 | Decisore 2

Criterio 1 | Criterio 2 | Criterio 3

	Attributo 1	Attributo 2	Attributo 3	...	Attributo n
Alternativa 1	Valore 11	Valore 12	Valore 13	...	Valore 1n
Alternativa 2	Valore 21	Valore 22	Valore 23	...	Valore 2n
...	...	...	...	...	...
Alternativa m	Valore m1	Valore m2	Valore m3	...	Valore mn
Preferenze	Peso 1	Peso 2	Peso 3	...	Peso n

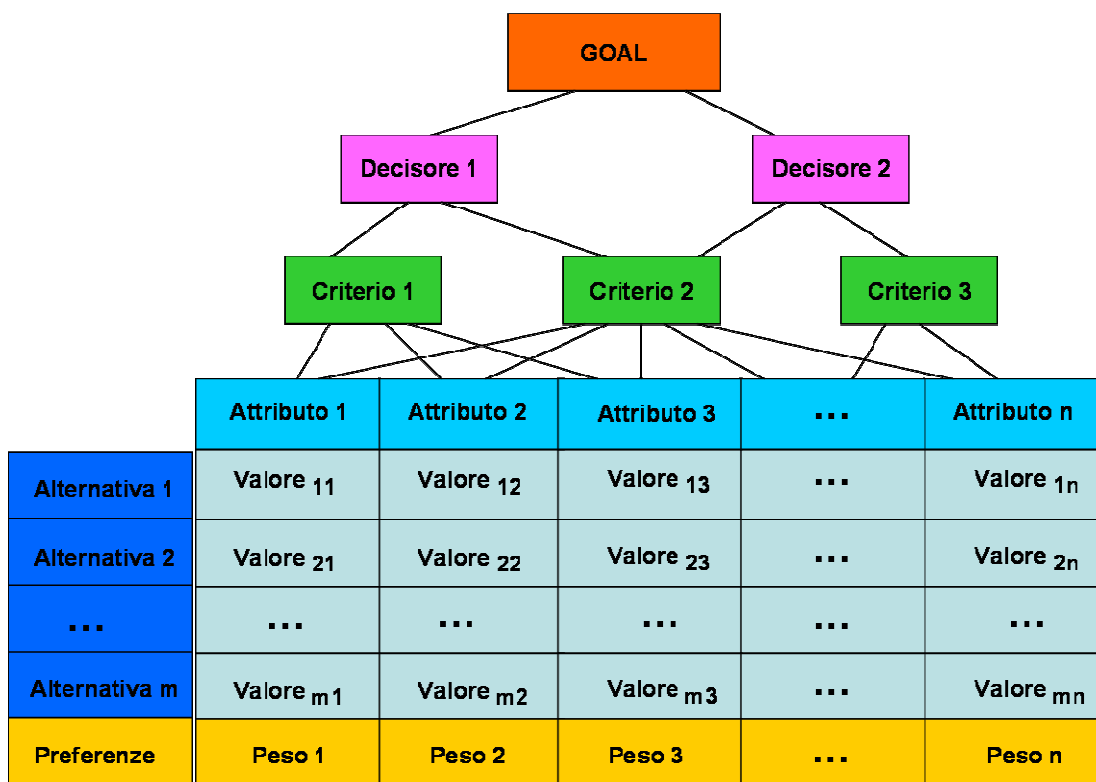



Fig. n°2.10: Rappresentazione degli elementi costituivi di una MCDA (MALCZEWSKI 1999)

L'integrazione della MCDA all'interno dei SDSS trova però una complicazione aggiuntiva in quanto sia preferenze e criteri, che giudizi di valore ricercati dipendono anche da parametri di localizzazione spaziale non facilmente integrabili all'interno delle tradizionali procedure di MC (ASCOUGH, 2002). Quindi la "*Spatial multicriteria decision problems typically involve a set of geographically-defined alternatives (events) from which a choice of one or more alternatives is made with respect to a given set of evaluation criteria*" (JANKOWSKI,1995; MALCZEWSKI, 1996).

Il punto critico è l'interazione tra le tecnologie GIS, usate per trattare i dati territoriali all'interno dei SDSS, e le tecniche e gli strumenti di MCDA (fig. n°11). Le convenzionali tecniche multicriteri esprimono i propri giudizi di valore su ogni alternativa ritenendoli appropriati per l'intero oggetto preso in considerazione, assumendo così, per assurdo, un'assoluta omogeneità spaziale all'interno dell'area di studio; mentre, realisticamente parlando, i criteri di valutazione, o meglio gli attributi che servono a misurarli, variano nello spazio e nel tempo (LAPUCCI 2005, MALCZEWSKI 1999).

INPUT
(dati geografici)
AMC & GIS
(analisi multicriteri spaziale)
OUTPUT
(decisione)

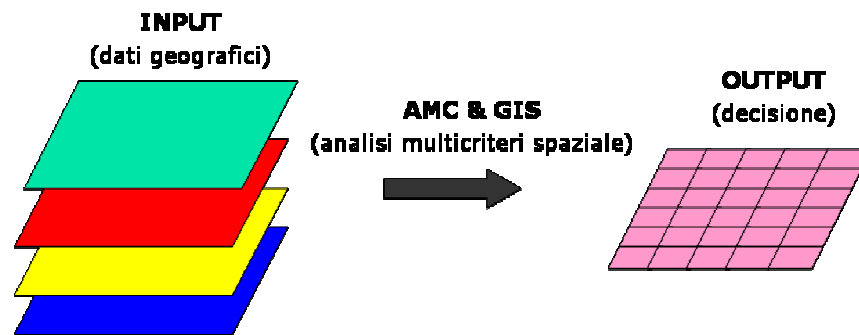



Fig. n°2.11, input geografici ed decisione output decisionale spaziale (MALCZEWSKI 1999)

Malczewski (1999) propone un "framework" utile per inquadrare i problemi di analisi multicriteri spaziali, evidenziando il contributo dei sistemi GIS e delle tecniche multicriteri nella strutturazione delle fasi di un processo decisionale.

La definizione del problema

Nella prima fase di *definizione del problema* le capacità del GIS di trattare dati spaziali e non risulta molto utile per la costruzione di una conoscenza orientata al processo decisionale. In questa fase, detta di *intelligence (SIMON 1960),* la definizione del problema decisionale può essere pensata in termini di divario tra lo stato attuale e la configurazione desiderata o desiderabile secondo l'ottica dei decisori dalla quale si possono ricavare gli obiettivi del programma (LAPUCCI A 2005, MALCZEWSKI 1999).

La definizione dei criteri e dei vincoli

La costruzione del processo decisionale prosegue con la ricerca di un insieme i criteri di valutazione che siano misurabili quanto qualitativamente. Con riferimento agli aspetti più rilevanti del problema di valutazione, si deve strutturare un insieme esaustivo di obiettivi e di misure per raggiungerli; ossia si devono esplicitare le scale di misura degli attributi dei criteri in base ai quali verranno confrontate le alternative. Precisando, la costruzione di un criterio richiede la definizione di tre elementi (fig. n°2.12): la *semantica*: la definizione del significato di quello specifico criterio; la *metrica*: la modalità di misurazione del criterio; la *funzione di risposta del criterio*: la modalità di reazione del criterio nel giudizio sulle alternative.

Criterio	Indicatore	Misura	Funzione obiettivo
Inquinamento acustico	Livello di rumore	dBA medio – dBA massimo per legge	tendente a 0
Inquinamento atmosferico	Traffico veicolare	n. medio automezzi pesanti/n. medio autoveicoli circolanti	minimo
	Sorgenti fisse di inquinamento	mq attività produttive inquinanti/mq totali edificati	minimo
Inquinamento del suolo	Bonifica da amianto	mq coperture in eternit/mq totali di copertura	tendente a 0
	Bonifica del terreno	mq terreno bonificato/mq inquinati	tendente a 1

Fig. n°2.12, alcuni esempi di criteri con i propri attributi, misura e funzione obiettivo

Essendo presente anche la dimensione spaziale i criteri e gli attributi possono essere rappresentati tramite mappe georiferite essenzialmente di due tipi (MALCZEWSKI 1999): *criterion maps* che riportano la distribuzione spaziale dei valori associati agli attributi e *constrains maps,* che introducono vincoli riguardo i valori e la localizzazione degli attributi o delle variabili decisionali. La costruzione di queste mappe sovrapponibili ed analizzabili con strumenti GIS permette la spazializzazione dei criteri e degli attributi, facilitando la strutturazione di alternative basate sul confronto tra tematismi territoriali diversi.

La generazione delle alternative

Il processo di generazione delle alternative è intimamente legato ai criteri scelti ed alla struttura degli attributi: i vincoli rappresentando le restrizioni imposte alla decisione, sia nei valori che gli attributi possono assumere (vincoli aspaziali), che nella loro distribuzione spaziale (vincoli spaziali); tali restrizioni delimitano di fatto l'insieme delle alternative possibili. Anche in questa fase lo strumento cartografico è di fondamentale importanza per la costruzione delle alternative possibili riferite allo spazio reale tramite l'integrazione geografica degli attributi; grazie allo strumento si possono visualizzare le possibili configurazioni dello spazio in modo da facilitare la formazione iterativa del processo di conoscenza dei decisori (SPRAGUE 1983).

La matrice di valutazione

La definizione degli n criteri e delle m alternative da origine alla matrice di valutazione (anche detta matrice di impatto o matrice di analisi o matrice dei punteggi) di dimensione nxm dove ogni elemento è costituito da una funzione che attribuisce il punteggio ad ogni alternativa rispetto a ciascun criterio.

Per ottenere la matrice dei punteggi sulla quale poi sarà possibile formulare i giudizi è necessario prima prendere in considerazione due aspetti: l'eventuale presenza di alternative da escludere dall'analisi,

ossia peggiori delle altre su ogni attributo o non rispondenti ad alcuni standard vincolanti, e il fatto che ogni criterio presenti unità di misura e scale proprie non direttamente confrontabili.

Il primo aspetto viene affrontato nella "analisi della dominanza" che viene effettuata rispetto a due metodi. Il primo consente di eliminare dal processo decisionale le alternative progettuali che risultino dominate in senso paretiano: ossia la procedura consiste nel verificare se esiste qualche alternativa che per ogni criterio ha risultati peggiori rispetto a un'altra[10]. Il secondo metodo permette di eliminare le alternative che non soddisfano determinati standard di accettabilità definiti dal decisore per ogni criterio secondo due diverse logiche: metodo disgiuntivo, dove sono considerate accettabili tutte le alternative che soddisfano almeno uno standard, e il metodo congiuntivo, dove sono considerate accettabili solo le alternative che soddisfano tutti gli standard.

Per confrontare un insieme di informazioni miste (qualitative e quantitative), con unità di misura differenti in base al criterio considerato, si rende necessario un processo di normalizzazione della matrice che renda omogenei e operabili questi dati trasformandoli in valori adimensionali attraverso due grandi classi di operatori logico matematici: funzioni di normalizzazione lineare e funzioni di valore e utilità.

Le funzioni di normalizzazione o standardizzazione lineare sono semplici funzioni matematiche (fig. n°2.13) direttamente applicabili nei casi di dati quantitativi; nel caso si presentino valori di tipo qualitativo sarà necessario associare dei punteggi secondo scale opportunamente studiate per poter applicare le funzioni di normalizzazione lineare.

Le funzioni di valore e utilità traducono in termini numerici adimensionali tutti gli attributi (cardinali, ordinali o qualitativi) della matrice iniziale, assegnandogli un corrispondente punteggio di preferenza/utilità, che rappresenta il grado di soddisfazione del decisore. Ogni criterio deve avere la sua funzione basata su una stessa scala o codominio: si considera quindi un campo di variabilità compreso tra due valori arbitrari (generalmente tra 0 e 1) dove il valore minimo indica la massima insoddisfazione e il valore massimo la massima utilità. Si utilizza la *funzione valore* quando i dati trattati sono di tipo analitico deterministico, mentre si ha una *funzione utilità* quando i dati sono di tipo stocastico, ossia espressi in termini di probabilità. L'utilizzo delle funzioni di utilità presenta sicuramente una serie di complicazioni rispetto a quelle di normalizzazione lineare: mentre nella standardizzazione lineare si utilizzano funzioni matematiche note, le funzioni di utilità sono spesso difficili da impostare, per indeterminatezza e dispendiosità di tempo, ed inoltre devono essere definite per ogni criterio della matrice di valutazione.

[10] DATE DUE ALTERNATIVE AJ E AK , AJ DOMINA AK (AJ>AK) SE $x_{ji} \ge x_{ki}$ PER OGNI I=1,…,N E ALMENO UN $x_{ji} > x_{ki}$.

Standardizzazione	*Funzione*
Zero-max	$y = \frac{x}{x_{\text{MAX}}}$
Min-max	$y = \frac{x - x_{\text{MIN}}}{x_{\text{MAX}} - x_{\text{MIN}}}$
Max-max	$y = \frac{x_{\text{MAX}} - x}{x_{\text{MAX}} - x_{\text{MIN}}}$
Vettoriale o euclidea	$y = \frac{x}{\sqrt{\sum x^2}}$
Totale di riga	$y = \frac{x}{\sum x}$
Zero-media	$y = \frac{x}{x_{medio}}$

Fig. n°2.13, Esempi di funzioni di normalizzazione lineare (MALCZEWSKI 1999)

La funzione zero-max trasforma i punteggi della matrice dividendo ognuno di essi per il più alto valore della riga cui appartengono: si ottengono così valori compresi tra 0 e 1 con un punteggio massimo pari a 1.

La funzione min-max tiene conto del valore massimo e minimo sulla riga trasformando i punteggi in valori compresi tra 0 e 1, con un punteggio minimo pari a 0 quando l'elemento considerato coincide col valore minimo, e un punteggio massimo pari a 1 nel caso in cui l'elemento considerato è quello col valore massimo. Lo stesso approccio di calcolo e lo stesso intervallo di valori si ha con la funzione max-max: tuttavia in questo caso il valore più basso si ottiene per l'alternativa maggiormente preferita e quello più alto per l'alternativa peggiore.

La funzione vettoriale o euclidea trasforma i punteggi dividendoli per la sommatoria dei valori di riga elevati al quadrato, ottenendo valori minori di 1.

Il metodo del totale di riga consiste in una trasformazione di ogni punteggio in frazione del totale di riga a cui appartiene: si ottengono così valori compresi tra 0 e 1, la cui somma è pari a 1.

Infine la funzione zero-media trasforma i punteggi dividendo ognuno di essi per il punteggio medio della riga cui appartengono.

Assegnazione dei pesi e regole decisionali

Questa fase consiste nella assegnazione dei pesi dei criteri che sintetizzano le preferenze dei decisori e permette la valutazione delle alternative con l'uso di una conveniente regola decisionale. Questa fase di *Design,* tipica delle tecniche multicriteri, può beneficiare dell'integrazione con i software GIS in quanto anche le preferenze stesse potrebbero essere condizionate da parametri spaziali; inoltre, grazie a criterion e value maps interattive, si possono facilitare le tecniche partecipative dei processi decisionali di gruppo oppure ampliare la partecipazione ad un vasto numero di utenti grazie all'uso software web-GIS (ASCOUGH, 2002, RAMBALDI 2006, MALCZEWSKI, 2006 BOROUSHAKI, 2010).

Nella MCDA esistono moltissime tecniche di assegnazione dei pesi capaci di costruire una matrice delle priorità tramite la definizione di un ordine di importanza tra i vari criteri e/o sotto-criteri. Le tecniche dipendono principalmente dal tipo di regola decisionale o funzione di aggregazione che si è deciso di

utilizzare per la gerarchizzazione delle alternative. A titolo d'esempio, e soprattutto per mostrare quale varietà di approcci siano riscontrabili, si ricordano le più comuni: *l'Assegnazione diretta*, dove i pesi vengono assegnati direttamente sulla base di una scala di punteggio prestabilita, per esempio da 1 a 100, oppure ridistribuendo tra tutti i criteri il punteggio totale, cioè in modo tale che la somma dei pesi di tutti i criteri sia pari a 100; *il confronto a coppie (Saaty)*,dove i pesi vengono assegnati ad ogni criterio confrontandolo con tutti gli altri, secondo la scala "fondamentale" di Saaty[11]; *il metodo Delphi*, col quale si cerca di raggiungere una assegnazione di pesi condivisa tramite questionari anonimi sottoposti ad gruppo di esperti in maniera ciclica[12].

Una volta che si sono moltiplicati i pesi per la matrice di valutazione si passa alla valutazione vera e propria delle alternative, che sintetizza le preferenze dei decisori con i vincoli del problema decisionale in un giudizio di valore che crei una scala di preferibilità tra le alternative. Le regole decisionali, o le funzioni di aggregazione disponibili per ottenere tale sintesi, afferiscono a tecniche di MCDA di varia natura quali: metodi di analisi multiobiettivo (goal programming, compromise programming, teoria dell'utilità multiobiettivo etc..) o di metodi multiattributo (AHP, metodi di concordanza, distanza dal punto ideale, funzioni di utilità multiattributo, metodi Fuzzy etc..).

L'analisi di sensitività

L'ordinamento tra le alternative insieme all'analisi di sensitività completano la "c*hoice phase*" cercando di valutare la robustezza dei giudizi espressi. Tale analisi mira a valutare in quale modo e quanto i cambiamenti dei dati di input del problema, ossia nel nostro caso dati geografici, vincoli e preferenze, possono influenzare il risultato finale del processo decisionale. Se l'ordinamento tra le alternative si rivelasse molto sensibile alle variazioni dei dati di ingresso, il modello non risulterebbe robusto rendendo necessario un ricalibramento delle fasi del processo decisionale. L'analisi di sensitività è quindi un metodo che, in maniera iterativa, permette di approfondire la conoscenza delle interazioni tra gli elementi del problema aumentando la conoscenza del decisore circa gli elementi di accordo o di conflitto tra le variabili del contesto decisionale e permettendo un'affinazione progressiva della valutazione. Infatti l'analisi di sensitività viene di solito effettuata rispetto ai seguenti aspetti della MCDA (DE MONTIS, 2001) :

sul metodo: si applica un diverso metodo di standardizzazione dei dati e (quando possibile) di computazione dei punteggi finali; si usa per controllare la dipendenza dei risultati dal metodo di calcolo;

[11]La scala di Saaty esprime dei valori a da 1 a 9, costruendo così una matrice dei confronti a coppie (quadrata e simmetrica rispetto alla diagonale principale) che,dopo alcune procedure di aggregazione, verrà moltiplicata con la matrice di valutazione per ottenere i punteggi finali.

[12] Il questionario viene sottoposto simultaneamente a tutti i partecipanti i quali, dopo averlo compilato, lo rinviano al gruppo redazionale, che provvede a produrre una sintesi delle diverse risposte e lo risotto pone agli stessi esperti fino al raggiungimento di un giudizio condiviso

sui criteri: si aggiungono o si eliminano alcuni criteri decisionali o si variano gli attributi che li caratterizzano; si usa per controllare se mancano criteri fondamentali;

sui pesi (la più applicata): si fanno variare i giudizi di merito di alcuni criteri; permette di costatare il grado di influenza di ogni fattore sulla decisione finale.

In questa fase è necessaria l'integrazione tra le metodologie MCDA e i software GIS per realizzare uno strumento capace di aggregare le preferenze ed i giudizi dei decisori in maniera spaziale; e darne una rappresentazione funzionale allo specifico processo decisionale. Malczewski (1999) sottolinea come tale integrazione sia critica soprattutto per la *Design phase* perché il flusso di informazioni non segue necessariamente le *fasi classiche del processo decisionale (SIMON 1960): sia gli attributi che le alternative sono dipendenti dalla dimensione spaziale* e si condizionano a vicenda (MALCZEWSKI, 1999). Gli attributi ed i vincoli assumono valori diversi a seconda della loro distribuzione nello spazio, ma nella definizione delle alternative si possono evidenziare nuovi aspetti dello specifico processo decisionale che possono ricondizionare gli attributi ed i vincoli iniziali, in un continuo processo di raffinazione delle alternative.

Integrazione tra MCDA e GIS

Assodato che è sempre desiderabile l'inserimento tra le librerie del sistema di un robusto set di tool per l'analisi statistica dei dati e le tecniche di modellazione matematica utili anche alla definizione di dati di input per la MCDM quali *criterion maps e constrains maps* (MALCZEWSKI 1999), sono possibili essenzialmente due tipologie di interazione tra i due strumenti e l'end user (fig. n°14): nella prima (*loose*) il software per l'analisi e la rappresentazione spaziale (GIS) rimane separato da quello dedicato alla MCDM, entrambi mantengono la propria interfaccia con l'utente ed interagiscono tra loro tramite dei file comuni; nella seconda (*tigth*) entrambe le funzioni sono gestite dalla stessa interfaccia utente, generalmente inserita all'interno del GIS software (JANKOWSKI, 1995), raggiungendo un miglior grado di integrazione. La seconda facilita l'interazione con i decision maker ma nella maggior parte dei casi richiede un alto grado di abilità nell'uso del GIS e nella programmazione da parte dell'*intemediary* (ASCOUGH, 2002).

Quindi si può definire un GIS-MCDA come un processo che trasforma e combina dati geografici (*map criteria*) e giudizi di valore (preferenze dei decisori) per ottenere rilevanti informazioni per il processo decisionale (MALCZEWSKI 1999, BOROUSHAKI, 2010): da una parte il GIS fornisce le sue universalmente riconosciute capacità di contenere, trattare e visualizzare i dati spaziali e non, dall'altra sinergicamente l'MCDA provvede, con una ricca collezione di algoritmi e procedure, a strutturare il processo decisionale definendone e valutandone le possibili alternative (MALCZEWSKI 1999, 2006 BOROUSHAKI, 2010).

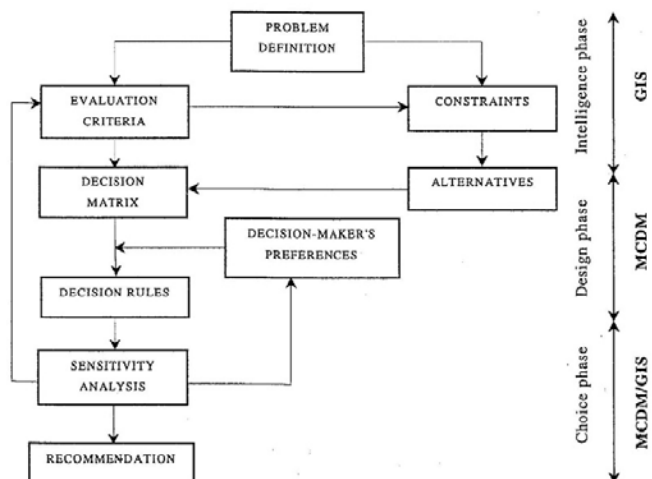



Fig. n° 2.13,Diagramma di flusso del processo decisionale per una *spatial multicriteria Analysis* (MALCZEWSKI ,1999)

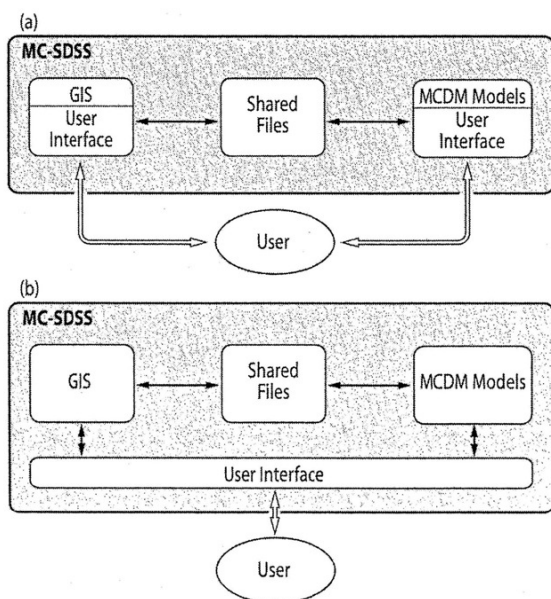



Fig. n°2.14, strategie di interazione tra le componenti di un MC-SDSS*: a) bassa integrazione, b) alta integrazione (*MALCZEWSKI ,1999)

MC-SDSS o GIS-MCDA sono stati sviluppati in una grande varietà di applicazioni tra le quali la gestione dell'uso dei suoli (DIAMOND AND WRIGTH, 1988; EASTMAN 1995, FISCHER 1996), la gestione delle risorse idriche (BENDER E SIMONVIC 1997), la localizzazione delle strutture sanitarie (Jancokowski 1997), la scelta di un sito per lo stoccaggio di scorie nucleari (CARVER, 1996) e tanti altri[13]. In particolare si sottolineano due esperienze che sono esempio di tool applicabili a diversi contesti. GeoChoisePerspectives[14] è un DSS, scaricabile dalla rete per un uso su pc desktop, per processi decisionali collaborativi spaziali sviluppato su base GIS e costituito da tre componenti: *ChoiseExplorer*, un tool che permette l'assegnazione dei pesi e delle priorità da parte del singolo decision maker; *ChoisePerspectives*, che facilita il processo decisionale partecipato aggregando e confrontando i punti

[13] Si può trovare un elenco più completo in Malczewski (1999); Table 10.4, pgs. 336-337
[14] Il software disponibile in rete in http://www.geochoice.com; è stato usato per la localizzazione delle strutture sanitarie (JANCOKOWSKI 1997) e per la pianificazione di tracciati ferroviari.

di vista individuali ottenuti attraverso il precedente modulo; GeoVisual, un estensione di ArcViev per la presentazione di mappe ed altri risultati di una MCDA. L'altro esempio è *l'Open Spatial Decision Making* (OSDM), sviluppato per il supporto alla decisione nella scelta di siti per lo stoccaggio di scorie nucleari in Inghilterra (CARVER 1996); è un GIS MC-SDSS basato su interfaccia web costituito da tre componenti principali: *A data viewer component*, che permette agli utilizzatori di accedere ai dati ed alle informazioni presenti nel GIS; *A data selection/criterion weighting component*, che permette agli utilizzatori di selezionare e pesare un set di vincoli e criteri in base ai quali richiedere la ricerca di un sito; *A result display component*, per la visualizzazione ed il confronto dei risultati della ricerca.
Si può concludere che, grazie anche allo straordinario sviluppo degli hardware e software, un MC-SDSS risponde a molti degli aspetti di un processo decisionale: la gestione dei dati spaziali e non, il supporto ai processi decisionali complessi tramite tecniche MCDA, il supporto ai processi partecipativi e collaborativi tramite interfacce user friendly e l'integrazione con la rete web, la visualizzazione cartografica e non dei risultati della MCDA e delle interrogazioni sul data base (ASCOUGH, 2002). In generale le applicazioni si focalizzano sia sull'integrazione delle capacità sempre nuove dei GIS e delle differenti tecniche MCDA, che sullo sviluppo di MC-SDSS in ambiente web alla ricerca di una sempre maggiore partecipazione pubblica ai processi decisionali riguardati il territorio (SIEBER 2006, ASCOUGH, 2002).

2.6 SDSS come strumento per la partecipazione

Negli ultimi anni si sta assistendo ad un notevole incremento della richiesta di partecipazione dei cittadini alle decisioni pubbliche che sta mettendo in crisi i metodi partecipativi convenzionali come le assemblee, gli incontri e gli avvisi pubblici, caratterizzati da eventi che si svolgono in un preciso tempo e luogo. Tali metodi sono stati spesso criticati nella loro effettiva capacità di rappresentare gli interessi dei gruppi deboli e dei residenti locali, sia per la difficoltà materiale di essere presenti ad un determinato momento partecipativo, che per la comune riluttanza a dare voce alle proprie preferenze in una assemblea (DRAGIĆEVIĆ AND BALRAM 2004, JANKOWSKI 2009). Le procedure partecipative hanno lo scopo principale di integrare i saperi e le preferenze locali tra gli input scientifici degli esperti all'interno del processo decisionale (DUNN 2007, RINNER ET AL. 2008, JANKOWSKI 2009). Per realizzare una partecipazione efficace il processo decisionale riguardante le scelte di piano dovrebbe essere condotto in maniera collaborativa e per una periodo di tempo abbastanza esteso a garantire il coinvolgimento degli attori deboli del processo (CARVER AND PEEKHAM 1999, JANKOWSKI AND NYERGES 2001, DRAGIĆEVIĆ AND BALRAM 2004). Le rapide innovazioni nel campo dei software informativi geografici e dei relativi hardware, hanno portato i GIS a diventare il principale strumento informatico di ausilio ai processi decisionali caratterizzati da un forte peso della dimensione spaziale e territoriale. Ma tali potenti strumenti e i più rilevanti dati spaziali non sono generalmente disponibili

alla stragrande maggioranza dei cittadini (CARVER AND PEEKHAM 1999, DRAGIĆEVIĆ AND BALRAM 2004): a causa dei costi e della difficoltà nella diffusione dei dati spaziali al pubblico, il GIS è diventato un centralizzato, esclusivo, elitario, costoso e tecnocratico strumento che richiede degli utilizzatori esperti per sfruttarne efficacemente le potenzialità (BOROUSHAKI, 2010). Si è quindi generata una certa distanza tra gli utilizzatori esperti e gli attori del processo decisionale, siano essi forti o deboli; ciò costituisce uno dei principali argomenti di ricerca inerenti lo sviluppo di sistemi GIS a supporto alle decisioni in ambito territoriale finalizzati al miglioramento della partecipazione pubblica e dell'equità delle scelte. L'implementazione di strumenti GIS in ambiente Word Wide Web (Web-GIS) da l'opportunità anche agli utenti non esperti di interrogare i database territoriali; alla base del processo decisionale anche a utenti non esperti; inoltre l'uso di strumenti quali blog, net meeting, mailing list, può offrire una valida alternativa ai convenzionali metodi partecipativi superandone i limiti di tempo e luogo e incoraggiando l'espressione delle proprie idee in un ambiente con minori condizionamenti (CARVER 1999-2003, JANKOWSKI AND NYERGES 2001, DRAGIĆEVIĆ AND BALRAM 2004, BOROUSHAKI, 2010). L'integrazione delle tecniche MCDA nei GIS permette ai partecipanti al processo decisionale di esplorare i diversi aspetti del problema e formulare le proprie preferenze: l'MCDA può offrire un ambiente strutturato dove i partecipanti possono esprimere le loro preferenze e obiettivi, esplorare l'intensità e le ragioni dei conflitti ed infine costruire il consenso delineando una soluzione di compromesso che li minimizzi (FEICK AND HALL 1999, JANKOWSKI AND NYERGES 2001, MALCZEWSKI 2006).

Negli ultimi quindici anni è stato fatto un considerevole sforzo nella ricerca per integrare la capacità dei GIS con l'MCDA in ambiente WWW (BOROUSHAKI, 2010). I WebGIS-MCDA di prima generazione si concentravano soprattutto sugli aspetti tecnici di integrazione tra lo strumento di analisi spaziale e le tecniche multicriteria per indirizzare la struttura analitica del problema spaziale. Molti di questi sistemi non assistevano direttamente gli utenti nella esplicitazione dei valori per la scelta tra le alternative ma supportavano la decisione tramite l'accesso e la visualizzazione delle informazioni (RINNER, C. AND J. MALCZEWSKI 2002). Anche la maggior parte dei sistemi di seconda generazione, pur utilizzando moduli analitici più sofisticati e potenti, mostrano una sostanziale debolezza tecnologica e metodologica circa la natura collaborativa dei processi decisionali spaziali: in particolare difettano dei mezzi e dell'implementazione necessaria a supportare la discussione pubblica che possano trasformare uno strumento tipicamente rivolto ad utilizzatori esperti in una tecnologia aperta ad un uso diffuso (RINNER 2002, MALCZEWSKI 2002 2006, BOROUSHAKI, 2010).

Uno strumento GIS-MCDA, sviluppato in un processo decisionale collaborativo, deve contenere procedure per acquisire le preferenze ed i valori dei singoli utenti tramite una semplice interfaccia web: l'utente deve poter esplorare i dati del problema tramite carte, grafici e ipertesti; esprimere i suoi giudizi di valore tramite semplici moduli e mappe interattive; osservare e confrontare le possibili

soluzioni generate dalle proprie scelte ed eventualmente modificarle in un processo iterativo di raffinazione. Lo strumento dovrà poi contenere procedure per aggregare i giudizi individuali in gruppi, per evidenziarne le conflittualità e rappresentarne con efficacia le soluzioni soddisfacenti o giustificabili (CARVER 2003, BOROUSHAKI, 2010, SCHLOSSBERG 2005, RAMBALDI 2006). Perciò, riguardo ad una MCDA sviluppato in ambiente web per un ampio parco di utilizzatori, si delinea una procedura in due parti: la definizione delle regole per la combinazione dei criteri e delle preferenze del decision maker individuale; la definizione delle regole per la sintesi della scelta collettiva (BOROUSHAKI, 2010). Lo sviluppo del sistema nel WWW costituisce un forte stimolo alla partecipazione pubblica in un ambiente costitutivamente più equo dove ogni opinione ha lo stesso spazio e dove tutti possono partecipare senza limiti di tempo e luogo. Il WebGIS-MCDA ha il potenziale per stimolare un approccio bottom-up nella pianificazione dello spazio, garantendo l'accesso pubblico ai dati territoriali ed ai modelli di simulazione, permettendo a tutti di esprimere la propria opinione in maniera informata e libera, favorendo così la democratizzazione del processo decisionale (CARVER AND PEEKHAM 1999, DRAGIĆEVIĆ AND BALRAM 2004, BOROUSHAKI 2010).

Ma mettere semplicemente a disposizione degli utenti uno strumento GIS tramite interfaccia Web non basta a garantire una sua reale efficacia: il punto chiave è lo sviluppo di una interfaccia di comunicazione capace di dialogare con le differenti aspettative e capacità dei tipi di utenti. In altre parole, durante la fase di progetto dello strumento di aiuto alla decisione, è necessario definire che tipo di partecipanti è previsto nel processo decisionale: chi sono, perché sono coinvolti, quali sono le loro aspettative, quali sono i rispettivi ruoli e i contributi che possono fornire (CARVER 2003, SCHLOSSBERG 2005, RAMBALDI 2006).

La creazione di mappe da interpretare in contesti partecipativi è un campo di ricerca emergente che unisce le tecniche di analisi spaziale, basate su supporti tecnologici in continua evoluzione, alle istaze sempre più cogenti della democrazia partecipativa. Le prime esperienze di Participatory Mapping, della fine del anni ottanta, riguardavano la pianificazione delle aree rurali e proponevano tecniche come lo *sketch mapping* e la più complessa *scale mapping* per facilitare la comunicazione tra gli *insider* (abitanti delle cittadine) e gli *outsiders* (ricercatori, ufficiali governativi) (RAMBALDI 2006).

Le capacità di rappresentazione della conoscenza in maniera visiva, proprie degli strumenti GIS, li rendono particolarmente adatti a supportare l'interazione tra i decisori politici, il sapere tecnico e la popolazione interessata, generando un processo comunicativo a due direzioni: da una parte i decisori e gli esperti educano la popolazione circa le ragioni tecniche e le caratteristiche peculiari dell'oggetto della decisione, dall'altra l'utente non esperto condivide la propria *Local Indigenous Knowledge* in un processo maieutico iterativo di ricerca della decisione (RAMBALDI 2006, SMYTH, 2001).

Participatory GIS (PGIS) utilizza il linguaggio visivo fortemente comunicativo dei GIS e può essere definito come una pratica che:

o promuove la partecipazione interattiva nella generazione e nella gestione della informazione spaziale; fornisce le informazioni necessarie a formare una conoscenza condivisa basata sulla collaborazione tra saperi esperti e *Local Indigenous Knowledge*;
o amplia il numero di potenziali interessati al processo decisionale grazie ad interfacce utente basate sugli specifici partecipanti;
o favorisce l'equità del processo decisionale dando voce alle minoranze svantaggiate dalle tecniche partecipative tradizionali (CARVER 2003, SCHLOSSBERG 2005).

Con il recentissimo sviluppo delle *Information Comunicative Technologies* che ha permesso di ampliare a dismisura il numero degli utenti coinvolgibili, si può parlare di *Public Participatory* GIS (PPGIS) (RAMBALDI 2006). Considerando chiaro cosa si intenda per "GIS", per gli altri due termini, "*Public*" e "*Participatory*", vi è la necessità di una definizione più operativa affinchè possano efficacemente essere presi in considerazione in un processo di implementazione di un sistema d'aiuto alla decisione di natura spaziale (JANKOWSKI 2003, TULLOCH 2003). Schlossberg (2005), partendo da alcuni noti contributi presenti in letteratura, esplora i significati dei due termini e propone griglie concettuali per guidare l'implementazione di un PPGIS rispetto al tipo specifico di partecipazione pubblica funzionale al particolare processo decisionale.

Per la definizione per *Participatory* nello sviluppo di un PPGIS si può fare riferimento ad alcune semplici e note scale di partecipazione che affrontano la tematica rispetto ad aspetti di natura differente. Arnstein (1969) definisce la partecipazione dei cittadini come la redistribuzione del potere a quella parte di popolazione che attualmente è esclusa dalle importati decisioni riguardo l'economia e la politica: nella sua scala si passa dal valore più basso della "manipolazione" da parte di chi detiene il potere al completo controllo popolare (fig. n°2.16).

Wiedemann (1993) invece focalizza il punto di vista della pubblica amministrazione, chiamata a coinvolgere in qualche modo gli utenti finali delle proprie decisioni, proponendo una scala basata sul grado di influenza della partecipazione allargata nelle decisioni: nella scala proposta si possono riconoscere le tipiche fasi dei processi valutativi dove può essere prevista una partecipazione che va dalla semplice informazione pubblica fino all'effettivo processo decisionale collaborativo, passando dalla definizione degli obiettivi, al suggerimento delle soluzioni e alla valutazione dell'efficacia (fig. n°2.16).

Similmente Dorcey (1994) ripercorre gli step di un processo decisionale riconoscendo che il grado di coinvolgimento del pubblico, ossia la numerosità degli interessati, aumenta col progredire del processo decisionale verso le fasi finali (fig. n°2.16). Differentemente Conner (1988) schematizza la partecipazione pubblica nei termini della prevenzione e risoluzione dei conflitti tra i *Leader* e il *General Pubblic*: lo schema proposto ordina alcune tecniche partecipative secondo il loro grado di efficacia nella prevenzione dei conflitti.

Lo sviluppo di un PPGIS deve, in prima battuta, identificare il tipo di partecipazione al quale riferirsi, in quanto ogni orientamento implica, da parte degli attori coinvolti, un differente set di obiettivi e di aspettative che necessita dello sviluppo di strumenti metodologici e tecnici specifici (SCHLOSSBERG, 2005).

Arnstein (1969)	Wiedemann and Femers (1993)	Dorcey et al. (1994)	Conner (1988)	
Degrees of Citizen Power ■ Citizen control ■ Delegated power ■ Partnership Degrees of Tokenism ■ Placation ■ Consultation ■ Informing Nonparticipation ■ Therapy ■ Manipulation	■ Public participation in final decision ■ Public participation in assessing risks and recommending solutions ■ Public participation in defining interests andactors and determining agenda ■ Public right to object ■ Informing the public ■ Public right to know	■ Ongoing involvement ■ Seek consensus ■ Task ideas, seek advice ■ Consult on reactions ■ Define issues ■ Gather information, perspectives ■ Educate ■ Inform	Leaders ■ Resolution/ prevention ■ Litigation ■ Mediation ■ Joint planning General Public ■ Consultation ■ Information feedback ■ Education	Increasing Public Involvement or Citizen Control ↑

Author	Orientation	Spectrum
Arnstein	Power Orientation	Manipulation → Citizen control
Wiedemann and Femer	Administrative Orientation	Education → Joint decision making
Conner	Conflict Resolution	Education → Prevention
Dorcey et al.	Planning Process	Inform → Ongoing involvement

Fig. n°2.16, Scale di partecipazione ad un processo decisionale e loro orientamento (SCHLOSSBERG, 2005)

L'altra parola che definisce i PPGIS è "*Public*", che richiama il coinvolgimento nel processo decisionale di più gruppi, organizzati e non, fino ai singoli cittadini. Infatti l'aspetto da chiarire è proprio chi siano e come possano essere individuati gli interessati ad uno specifico processo partecipativo (DAY 1997; LANGTON 1978; THOMAS 1995, SCHLOSSBERG, 2005) . Preliminarmente si possono richiamare le definizioni di Freeman (1984) *Any group or individual who can affect or is affected by the achievement of the organization's objectives* e di Sewell and Coppock (1977) *those who have a legitimate interest should be included in decision making*. Oppure, focalizzandosi sul tipo di contributo che il pubblico può dare, si possono definire *Relevant Public* tutti coloro che in qualche modo possono influire nel processo decisionale: "*who could aff ect the ability to implement a decision by accepting or facilitating implementation"* (THOMAS, 1995). Questo gruppo è poi ancora articolabile in tre categorie: *1) one organized group, 2) multiple organized groups, and 3) unorganized publics or complex publics* (THOMAS, 1995).

Inquadrare con precisione quale sia il pubblico coinvolto è di fondamentale importanza nella strutturazione di uno strumento PPGIS in quanto i gruppi possono differire tra loro per aspettative e

capacità di interazione; inoltre gli attori coinvolti possono variare nel tempo, durante le varie fasi del processo decisionale, e nello spazio, per il coinvolgimento diretto delle specifiche comunità locali (MITCHELL 1997, AGGENS 1983).

La definizione degli attori rilevanti può essere attuata rispondendo alle seguenti domande (MCCRACKEN 1998): chi sono i potenziali beneficiari? Chi può esserne influenzato negativamente? Sono identificabili dei gruppi vulnerabili? Sono identificabili dei gruppi favorevoli o contrari? Quali sono le reazione tra gli stakeholders?

Rispondendo a queste domande, in un'ottica di selezione di gruppi e tipologie di partecipanti, Creigthon (1983) propone alcuni criteri per l'identificazione dei gruppi interessati tramite la natura del loro coinvolgimento:

prossimità: coloro che sono vicini a dove è previsto il progetto o programma;

economico: segmento della popolazione che può avere guadagni o perdite economiche;

uso: il segmento di popolazione che può subire delle restrizioni d'uso di risorse o servizi;

sociale: il segmento di popolazione che può essere minacciato nella suoi aspetti culturali o demografici;

valoriale: gruppi interessati alla relazione che il progetto o programma ha con i propri ideali.

Basandosi invece sul peso che le diverse tipologie di attori hanno nel processo decisionale e sullo sforzo che una amministrazione deve sopportare per permetterne la partecipazione, Aggens (1983) propone uno schema concentrico (fig. n°2.17) che pone al centro i *decision maker* e al livello più esterno gli *Unsurprised Apathetics* che necessitano della sola informazione. Spostandosi verso il centro si assiste ad un progressivo aumento della complessità della comunicazione rispetto alla quale devono essere implementate le interfacce del PPGIS.

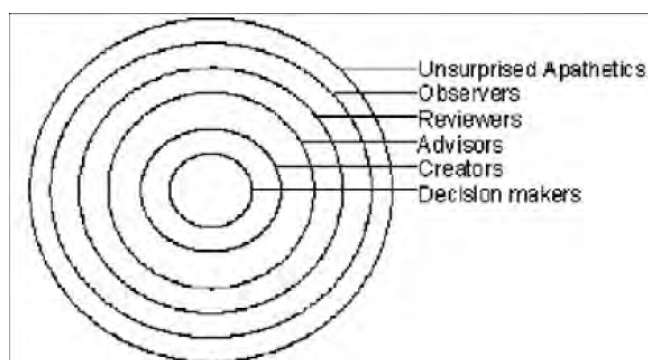



Fig. n°2.17, Attori interessati in base al grado di coinvolgimento (AGGENS 1983)

L'intersezione delle caratteristiche dei due termini può orientare l'implementazione di un efficace PPGIS identificando il tipo di stakeholders coinvolti specificandone: la loro numerosità, il loro grado di expertise, le aspettative, il peso, gli apporti che possono fornire al processo decisionale. Schlossberg

(2005) propone una matrice (fig. n°2.18) che confronta i due aspetti secondo scale a complessità crescente; l'intersezione tra i due valori identifica delle celle dove idealmente si possono localizzare gli aspetti, o gli obiettivi, che il PPGIS deve sviluppare rispetto allo specifico processo decisionale. In uno stesso PPGIS si possono trovare obiettivi ricadenti in più celle per rispondere ai diversi momenti dell'iter di decisionale e alla necessità di interazione con le varie tipologie di attori coinvolti. Uno schema alternativo può essere strutturato sostituendo la scala proposta per il domini della partecipazione con una scala riportante le relative tecniche partecipative (fig. n°2.19); in questo caso nelle celle si potranno descrivere con più dettaglio gli strumenti utilizzati per il perseguimento dell'obiettivo.

	Domain of Public (simple → complex)				
Domain of Participation (simple → complex)	Decision Makers	Implementers	Affected Individuals	Interested Observers	Random Public
Inform					greater spatial knowledge
Educate	increased political support				
Consult					
Define Issues					
Joint Planning		efficient implementation			
Consensus					
Partnership			community buy-in		
Citizen Control					

Fig. n°2.18, matrice degli obiettivi del PPGIS in funzione degli aspetti partecipativi (SCHLOSSBERG 2005)

	Domain of Public (simple → complex)				
Participation Techniques (simple → complex)	Decision Makers	Implementers	Affected Individuals	Interested Observers	Random Public
Static Web Page					
Interactive Web Page					
Mall Survey					
Personal Survey					
Public Meeting					
Charrettes					
Citizen Juries					
Collaboration					

Fig. n°2.19 matrice delle tecniche del PPGIS in funzione degli aspetti partecipativi (SCHLOSSBERG 2005)

2.7 Conclusioni

Ben lungi dal ritenere esaurito il quadro dei molteplici contributi in letteratura inerenti tali aspetti, per i quali si rimanda a ulteriori approfondimenti, si ritiene che le matrici proposte da Schlossberg possano essere un valido aiuto operativo per impostare correttamente la dimensione partecipativa durante la strutturazione di uno strumento di supporto al piano, cercando di identificare fin dall'inizio le tipologie di attori coinvolti nel processo decisionale e quale contributo questi possono fornire in termini di definizione della conoscenza, costruzione e valutazione delle alternative e assunzione della decisione.

Inoltre, il recente sviluppo delle interfacce web all'interno dei DSS permette di gestire un notevole flusso di dati garantendo la facile consultazione da parte degli utenti, che possono interagire con lo strumento utilizzando semplici supporti informatici e senza bisogno di competenze specifiche. A questo aspetto tecnico si può aggiungere la possibilità di mettere in contatto soggetti potenzialmente interessati anche senza una effettiva presenza degli stessi. Quindi, i DSS, o nel caso dei problemi inerenti il territorio i SDSS, sono degli strumenti preziosi sia nella organizzazione della base di conoscenza, sottesa ad ogni processo decisionale, che per la facilitazione che possono fornire nel processo di partecipazione anche a livello prettamente comunicativo.

Nello sviluppo di politiche per il miglioramento della efficienza energetica del patrimonio edificato ci si confronta con un problema che, oltre ad avere notevoli elementi di indeterminatezza, è caratterizzato da una forte connotazione spaziale del problema che riguarda sia la definizione delle sue caratteristiche che l'esplorazione delle possibili alternative. Lo strumento GIS è adatto per effettuare le analisi spaziali necessarie a definire le caratteristiche fisiche del patrimonio e per sviluppare tools ed algoritmi per testare le alternative progettuali. Inoltre l'intrinseca capacità comunicativa dei GIS e la possibilità di integrazione con le tecniche MCDA permetteranno di delineare una metodologia che possa accompagnare gli stakeholders per tutto l'iter del processo decisionale. In questo studio riferendoci al paradigma dei SDSS (DENHA 1991) si propone una metodologia incentrata sul contributo degli esperti e dei tool GIS, per lo studio delle caratteristiche di efficienza energetica del patrimonio edificato e per la formulazione di alternative progettuali.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Aggens, L. 1983. Identifying different levels of public interest in participation. Fort Belvoir, VA: The Institute for Water Resources, U.S. Army Corps of Engineers.

Airinei Dinu, Daniel Homocianu (2010); *The architecture of a complex GIS & spreadsheet based DSS*; Journal of Geographic Information and Decision Analysis, vol.1, no.1, pp. 44-68

Alessandra Lapucci, Alessandro Santucci e Armando Cofrancesco (2005); *L'aiuto alle decisioni multicriteri e le tecniche di analisi spaziale per la valutazione territoriale integrata: l'individuazione di un corridoio stradale di minimo impatto*; XXX Conferenza Italiana Di Scienze Regionali

Andrea De Montis, Stefano De Montis, Peter Nijkamp, Cyber Planning e Sistemi Interattivi di Supporto al Piano (SISP): classificazioni e pratiche; Scienze Regionali Vol 4 n.3, Franco Angeli (2005)

Anthony, R. N. 1965. *Planning and Control Systems: A Framework for Analysis.* Harvard Business School Division of Research

Armstrong, M.P., Densham, P.J (1990); Database organization alternatives for spatial decision support; International Journal of Geographical Information Systems 4; 3-20

Armstrong, M.P., Densham, P.J., and Rushton, G., 1986,Architecture for a Microcomputer-Based Spatial Decision Support System: Proceedings, Second International Symposium on Spatial Data Handling, Seattle, pp. 120-13

Arnstein, S. R. 1969. A ladder of citizen participation. Journal of the American Institute of Planners 35(4): 216-24.

Brail R. e Klosterman R (2001); Planning Support System, ESRI Press; USA

Brian E. Mennecke (1997); *Understanding the Role of Geographic Information Technologies in Business: Applications and Research Directions*; Journal of Geographic Information and Decision Analysis, no.9 (4), 2010 pp 9-13

C.R. Licklider (1960), Man-Computer Symbiosis, IRE Transactions on Human Factors in Electronics, volume HFE-1, pages 4-11, March 1960

Campagna M., De Montis A. Deplano G."PSS design: a *General Framework Perspective;* International Journal of Environmental Technology and Management Volume 6, Number 1-2 / 2006 Pages: 163 – 179

Carlson E.D. (1983); A approach for designing Decision Support System; Petrocelli, New York pp.127-156

Carver, S. and R., Peekham 1999. *Using GIS on the Internet for planning*. I: Stillwell, J., S. Geertman and S. Openshaw (Eds.), Geographical Information and Planning, (Berlin: Springer): 371-390

Carver,S.J. (1996); Open *spatial decision making on the Internet*;, School of Geography, University of Leeds, Leeds, Yorkshire, England, 1996. URL:http://www.ccg.leeds.ac.uk/mce/mcehome.htm

Chen P.P.; Entity relationship approach to Information Modeling Analysis; Elsevier Science Publishers B.V; E.R. institute 1983

Chiara Mocenni (2008); Dispense di Sistemi di Aiuto alla Decisione; facoltà di ing. Gestionale di Siena http://www.dii.unisi.it/~mocenni/

Ching-Lai Hwang and Kwangsun Yoon (1981). Multiple Attribute Decision Making. Methods and Applications. A State-of-the- Art Survey: Methods and Applications: a State-of-the-Art Survey. Springer-Verlag GmbH

Cooke, D.F. (1992) Spatial Decision Support System: Not Just Another GIS. GeoInfo Systems, 2:5, 46-49

D. J. Power (1997); *What is a DSS?* The On-Line Executive Journal for Data-Intensive Decision Support 1(3)

D.J. Power (2002); Decision Support Systems: concepts and resources for managers; Westport, Conn Quorum books (2002)

D.J. Power (2007); *A Brief History of Decision Support System,* DSSResources.com (2007)

Davis D.L., Elnicki R.A. (1984); User congnitive type for Decision Support System; Omega 12 601-14

Day, D. 1997. Citizen participation in the planning process: an essentially contested concept? Journal of Planning Literature 11(3): 421-34

DE MONTIS A., *Analisi multicriteri e valutazione per la pianificazione territoriale*, Ed. C.U.E.C., Cagliari 2001

Demarest, M., "Technology and Policy in Decision Support Systems", DSSResources.COM, 07/08/2005

Densham, P. J. (1991); "Spatial Decision Support Systems." *Geographical Information Systems: principles and applications*. Ed. David J. Maguire, Michael F. Goodchild and David W. Rhind. Essex: Longman Scientific & Technical, 1991. 1: 403-4l2.

Diamond, J.T., and J.R. Wright, Design of an integrated spatial information system for multiobjective land-use planning, Env. And Planning B, 15(2), 205-214, 1988

Dragićević, S. and S. Balram 2004. A Web GIS collaborative framework to structure and manage distributed planning processes. Journal of Geographical Systems 6: 133-153.

Dunn, C. E. 2007. Participatory GIS: a people's GIS? Progress in Human Geography 31: 616-637

Eastman, J.R., W. Jin, P.A.K. Kyem, and J.Toledano, Raster procedures for multicriteria/multi-objective decisions, Photogram.Eng. Remote Sens., 61(5), 539-547, 1995.

Feick, R.D. and G.B. Hall 1999. Consensus building in a multiparticipant spatial decision support system. URISA Journal 11(2): 17-23

Fischer, G., M. Markowski, and J. Antione, Multiple criteria land use analysis, Working Paper WP-96-006, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 1996

Freeman, R. E. 1984. Strategic management: A stakeholder approach. Boston: Pitman Publishing.

Geertmann S. e Stillwell J. (2002); Planning Support System in Pratice; Springer; Berlin

Geoffrion A. M (1983), can OM/RS evolve fast enough? Interfaces 13: 10-25

Giacomo Rambaldi, Peter A Kwaku Kyem, Mike McCall, Daniel Weiner (2006) Participatory Spatial Information Management and Communication in Developing Countries; The Electronic Journal on Information System in Developing Countries (EJISDC), 25, 1-1-9; http://www.ejisdc.org

Gregory E. Kersten, Zbigniew Mikolajuk, Anthony G. O. Yeh (2000); Decision support systems for sustainable development: a resource book of methods and applications, Springer, 2000.

Haettenschwiler, P. (1999). *Neues anwenderfreundliches Konzept der Entscheidungsunterstützung*. Gutes ntscheiden in Wirtschaft, Politik und Gesellschaft. Zurich, vdf Hochschulverlag AG: 189-208

Henk G. Sol et al. (1987). Expert systems and artificial intelligence in decision support systems: proceedings of the Second Mini Euroconference, Lunteren, The Netherlands, 17–20 November 1985. Springer, 1987. ISBN 9027724377. p.1-2.

Simon Herbert (1955), A Behavioral Model of Rational Choice; The Quarterly Journal of Economics © 1955 The MIT Press

James C. Ascough II, Harriet D. Rector , Dana L. Hoag, Gregory S. McMaster, Bruce C. Vandenberg, Marvin J. Shaffer, Mark A. Weltz, and Lajpat R. Ahjua (2002); Multicriteria Spatial Decision Support Systems: Overview, Applications, and Future Research Directions; International Environmental Modelling and Software Society (IEMSS) volume tre, (2002)

Jankowski, P. (1995), Integrating geographical information systems and multiple criteria decision making methods, Int. J. Geo.Inform. Sys., 9(3), 251-273, 1995.

Jankowski, P. 2009. Towards participatory geographical information systems for community-based environmental decision making. Journal of Environmental Management 90: 1966-1971.

Jankowski, P. and T. Nyerges 2001. Geographic Information Systems for Group Decision-making: Towards a participatory, geographic information science. (New York: Taylor & Francis).

Jankowski, P., and T. Nyerges. 2003. Toward a framework for research on geographic information-supported participatory decision making. URISA Journal 15(Access and Participatory Approaches (APA) I): 9-17, http://www. urisa.org/Journal/APANo1/jankowski.pdf.

Keen, P.G. and M.S. Scott-Morton (1978), Decision Support Systems: An Organizational Perspective, Reading, Massachusetts: Addison- Wesley, (1978)

Keeney, R. (1992); Value focused thinking. Cambridge, MA: Harvard University Press. 432 p.

Langton, S. (1978); Citizen participation in America: essays on the state of the art. Lexington, MA: Lexington Books.

Lisa D. Murphy (1995); Geographic Information Systems: Are They Decision Support Systems? Proceedings of the 28th Annual Hawaii International Conference on System Sciences

Malczewski, J. (1999); *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, John Wiley and Sons, 392 pp., New York, NY, (1999)

Malczewski, J. 2006. *GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature*. International Journal of Geographical Information Science 20(7): 703-726.

Marakas, G. M. (1999). *Decision Support Systems in the twenty-first century*. Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall

Marc Schlossberg and Elliot Shuford (2005); *Delineating "Public" and "Participation" in PPGIS*; URISA Journal • Vol. 16, No. 2 • 2005

Mascarenas J. And Prem Kunar P. D. (1991), *Participatory Mapping Modelling User's Notes*; RRA Notes 12,9-20 IIED London

Mitchell, R. K., B. R. Agle, and D. J. Wood. 1997. *Toward a theory of stakeholder identification and salience: defining the principle of who and what really counts*. The Academy of Management Review 22(4): 34

Moon T. (2003); *Development of Web-Based Public Participation and Collaborative Planning System (PPCPS)*, Proceeding of the 8th International Conference on Computer in Urban Planning and Urban Management (CUPUM), Sendhai City, Japan May 27-29

Rinner, C. and J. Malczewski 2002. Web-enabled spatial decision analysis using Ordered Weighted Averaging (OWA). Journal of Geographical Systems 4(4): 385-403

Sewell, W. R. D., and J. T. Coppock. 1977. Public participation in planning. London; New York: Wiley

Sieber, R. E. 2006. Public participation and geographic information systems: A literature review and framework. Annals of the American Association of Geographers 96(3): 491-507

Simon H.A. (1960), *The New Science of Management Decision*; Harper and row, 273 pp, New York

Smyth, E. (2001) Would the Internet widen public participation? Unpublished MRes Thesis, University of Leeds.

Soheil Boroushaki, Jacek Malczewski (2010)ParticipatoryGIS: A Web-based Collaborative GIS and Multicriteria Decision Analysis; URISA - *The Association for GIS Professionals; accepted manuscript*

Sprague R.H. (1980); *A framework for the development of Decision Support System*; Management Information Science Quaterly 4; 1-26.

Sprague, R. H. and E. D. Carlson (1982). Building effective decision support systems. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall. ISBN 0-130-86215-0

Steve Carver (2003); *The Future of Participatory Approaches Using Geographic Information: developing a research agenda for the 21st Century*; URISA Journal • Vol. 15, APA I • 2003

Thomas, J. C. 1995. *Public participation in public decisions: new skills and strategies for public managers*, 1st ed. San Francisco: Jossey-Bass Publishers

Tulloch, D., and Tamara Shapiro 2003. *The intersection of data access and public participation: impacting GIS users; success?* URISA Journal 15(Access and Participatory Approaches (APA) II): 55-60, http://www.urisa.org/Journal/APANo2/Tulloch.pdf

Turban et altr (1995-2005); *Decision Support Systems and Intelligent Systems*, 7th Edition; Prentice Hall (2005)

Wiedemann, P. M., and S. Femers. 1993. *Public participation in waste management decision making: analysis and management of conflicts*. Journal of Hazardous Materials 33(3):355-68

Capitolo 3

Aspetti generali delle energie rinnovabili

3.1 Politiche e programmi Comunitari

L'aumento dell'attenzione alle tematiche ambientali ha portato al centro del dibattito nazionale ed internazionale la questione energetica che vede nello sviluppo delle Fonti di Energie Rinnovabili (FER) la principale soluzione sia ai problemi ecologici del riscaldamento e inquinamento della biosfera, che alla costosa dipendenza dei mercati internazionali dalle fonti di energia fossile.

Tale convinzione, che ha le sue radici nei principi dello sviluppo sostenibile, è basata sull'assunto che le FER siano ampiamente disponibili nel territorio e che saranno utilizzabili per un tempo indeterminato da tutti senza che ciò comporti una diminuzione della loro diffusione.

Si intendono comunemente "fonti rinnovabili" quelle tipologie di energie che si rigenerano ad una velocità superiore a quella con la quale vengono consumate. In generale vengono inserite tra queste: energia solare, energia eolica, energia geotermica, energia idraulica, energia da biomasse. Mentre per fonti alternative di energia si intende tutto l'insieme delle fonti energetiche diverse dalle fossili, generalmente vi si comprendendovi anche il nucleare.

Non tutte le classificazioni delle fonti di energia comprendono le stesse fonti tra le rinnovabili. In alcuni studi non viene considerata "rinnovabile" l'energia geotermica[1], mentre, nell'ambito dei movimenti ambientalisti, spesso viene scartata l'energia prodotta dai rifiuti solidi urbani, in quanto questi sono prodotti anche con materie prime fossili o prodotti sintetici non biodegradabili[2].

L'energia nucleare viene considerata una energia "alternativa" in quanto sostitutiva delle fonti di origine fossile classiche, ma non può essere ritenuta rinnovabile in quanto dipendente da un minerale presente comunque in quantità limitate e pone seri problemi di sicurezza per lo smaltimento dei prodotti di scarto.

Tra le iniziative internazionali intraprese allo scopo di raggiungere globalmente lo sviluppo delle FER e la conseguente diminuzione dei gas serra[3], spicca la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change), trattato prodotto nell'ambito della Conferenza sull'Ambiente e sullo Sviluppo delle Nazioni Unite (UNCED, *United Nations Conference on*

---

1 Ci si riferisce agli effetti di raffreddamento localizzato del suolo che possono generarsi in caso di un uso massiccio della risorsa termica sotterranea (TINTI 2009)

2 Solo in Italia (a differenza delle direttive europee in materia) viene considerata rinnovabile totalmente l'energia prodotta dalla termovalorizzazione, mentre la UE considera "rinnovabile" solo la parte organica dei rifiuti (ovvero gli scarti vegetali)

3 la CO_2 è un gas che, quando disperso in atmosfera, tende a schermare la radiazione ad onda lunga (calore) in uscita dal pianeta, mantenendo la superficie terrestre più calda di quanto sarebbe in sua assenza (effetto serra). Analogamente si comportano CH4 e N2O, che, pur presenti in atmosfera in concentrazioni notevolmente inferiori hanno un potenziale specifico di riscaldamento globale superiore.

Environment and Development), tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992. Tale trattato si prefigge lo scopo di "raggiungere la stabilizzazione delle concentrazioni dei gas-serra in atmosfera a un livello abbastanza basso per prevenire interferenze antropogeniche dannose per il sistema climatico"[4] secondo un'assunzione di responsabilità comune ma differenziata. I Paesi sono infatti divisi in tre gruppi: Paesi dell'Allegato I (Paesi Industrializzati); Paesi dell'Allegato II (Paesi Industrializzati che sostengono costi per i Paesi in Via di Sviluppo); Paesi in Via di Sviluppo (PVS).

I Paesi dell'Allegato I scelgono di ridurre le proprie emissioni di gas-serra a livelli obiettivo (non vincolanti) non superiori alle proprie emissioni del 1990; mentre i Paesi in Via di Sviluppo non hanno restrizioni immediate per impedire limitazioni ai processi di crescita economica[5]. La Convenzione prevede quindi che i Paesi dell'Allegato II si impegnino a fornire risorse finanziarie e tecnologiche ai PVS. La Convenzione, aperta alle sottoscrizioni nel maggio del 1992, è entrata in vigore nel marzo del 1994, a seguito della ratifica da parte del cinquantesimo Paese; essa conta al momento 188 Paesi membri[6.] La Convenzione prevede che, a seguito della sua entrata in vigore, si tengano annualmente le Conferenze delle Parti (COP, Conferences of the Parties), nell'ambito delle quali sviluppare ed introdurre piani d'azione legalmente vincolanti (Protocolli) ed individuare meccanismi che ne rendano possibile l'applicazione. In occasione della COP-3, tenutasi a Kyoto, in Giappone, nel dicembre del 1997, è stato adottato il Protocollo di Kyoto[7],entrato in vigore il 16 febbraio 2005[8]. Obiettivo del Protocollo è raggiungere, nel periodo 2008-2012, una riduzione delle emissioni climalteranti legate a sei gas (CO2, CH4, N2O, HFC, PFC e SF6) di almeno 5 punti percentuali a livello globale rispetto ai valori registrati nel 1990 (per i primi tre) e nel 1995 (per gli ultimi tre). Per ottenere tale risultato, il trattato impone la creazione di registri nazionali delle emissioni, ed assegna ad ogni Paese membro rientrante nell'Allegato I una riduzione delle emissioni rispetto al 1990 da conseguire entro il 21 dicembre 2012. Tale valore varia da Paese a Paese: per l'Italia è di 6,5 punti percentuali inserito in una diminuzione dell'8% assegnata alla Comunità Europea.

Per facilitare il raggiungimento di tali obiettivi il protocollo prevede il ricorso ad alcuni meccanismi di mercato, definiti Meccanismi Flessibili, che permettono ad aziende o soggetti pubblici di realizzare, nel proprio paese o

---

[4]Il testo completo della Convenzione Quadro è disponibile sul sito internet UNFCCC all'indirizzo: http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf

[5] Secondo alcuni autori questa disparità di richieste del protocollo riscia di essere la ragione del suo fallimento in partenza: *la causa sta nella stessa architettura del protocollo ovvero nella asimmetria – che col tempo è prevista accrescersi- tra paesi sviluppati su cui gravano gli impegni di riduzione delle emissioni e quelli sottosviluppati che sono viepiù responsabili del loro futuro aumento (tra cui 8 dei 20 paesi oggi più inquinati)* (Clo, 2008)

[6] Nel 2008 tra i Paesi che avevano ratificato il Protocollo mancavano tuttavia gli USA, responsabili nel 1990 del 36,1% delle emissioni globali di CO2

[7] Il testo completo del Protocollo di Kyoto è disponibile sul sito internet del Ministero dell'Ambiente all'indirizzo: http://www2.minambiente.it/Sito/settori_azione/pia/docs/protocollo_kyoto_it.pdf

[8] L'entrata in vigore del trattato ha coinciso con la ratifica da parte del 55° Paese (la Russia) che ha permesso il raggiungimento della soglia del 55% delle emissioni planetarie di gas-serra richiesta per l'applicazione legalmente vincolante del trattato.

in compartecipazione con altri progetti mirati alla diminuzione di gas serra e maturare dei Certificati di Riduzione delle Emissioni che possono quindi essere accumulati o venduti sul Mercato delle Emissioni.

L'Unione Uuropea ha ratificato il Protocollo il 31 maggio 2002 e indipendentemente ha introdotto un mercato locale dell'energia (EU ETS, EU *Emissions Trading Scheme*) tramite la Direttiva 2003/87/CE 25 nella quale è stato stabilito che dall'1 gennaio 2005 nessun impianto tra quelli elencati nella direttiva stessa (impianti termoelettrici, metallurgici, raffinerie, produzione di cemento, vetro, carta) possa continuare ad operare senza un'apposita autorizzazione ad emettere gas a effetto serra. L'ottenimento di questi permessi è di carattere oneroso in modo da stimolare i soggetti a realizzare tutti quegli interventi di riduzione delle emissioni che risultino più convenienti dell'acquisto di permessi. Inoltre tali permessi, assegnati agli impianti dalle Autorità competenti nazionali attraverso i Piani Nazionali di Assegnazione (PNA), sono una risorsa limitata: un eccessivo ricorso all'acquisto degli stessi porta ad un loro incremento di prezzo, rendendo così economicamente convenienti gli interventi di riduzione.

Il meccanismo del mercato si inserisce in una gran quantità di politiche a livello comunitario volte alla riduzione delle emissioni tramite strumenti tecnologici, finanziari e di comunicazione che stimolino il risparmio energetico e l'uso di fonti rinnovabili. Alcuni esempi sono:

– la politica *climate action*[9], volta a promuovere l'uso di energia proveniente da fonti rinnovabili, la ricattura e l'immagazzinamento di CO2 e l'efficienza energetica, puntando ad una crescita sostenibile delle economie nazionali;

– il fp7, (*eu's seventh framework programme for Research and Technological Development*)[10], volto a finanziare tra il 2007 e il 2013 progetti di ricerca cooperativa che coinvolgano università, industrie, centri di ricerca ed enti pubblici all'interno e all'esterno della Comunità Europea;

– il IEE, (*Intelligent Energy Europe*)[11], destinato al finanziamento di proposte e progetti inerenti la diffusione di metodologie e strumenti ecoefficienti già maturi e la loro integrazione nel mercato; l'obiettivo è l'abbattimento delle barriere non-tecnologiche e la stimolazione della crescita del mercato europeo dei settori inerenti l'efficienza energetica e le fonti rinnovabili;

– la *Sustainable Energy Europe Campaign*[12], un'iniziativa per aumentare la consapevolezza ed orientare gli stili di consumo energetico, con lo scopo di contribuire a raggiungere gli obiettivi delle politiche energetiche comunitarie in tema di fonti di energia, efficienza energetica, trasporti puliti e carburanti alternativi.

---

[9] *Climate Action – Energy for a Changing World* (Azioni per il Clima – Energia per un Mondo che Cambia); sito internet: http://ec.europa.eu/energy/climate_actions/index_en.htm

[10] FP7, *EU's Seventh Framework Programme for Research and Technological Development*; sito internet: http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/rtd/index_en.htm

[11] IEE, *Intelligent Energy Europe*; sito internet: http://ec.europa.eu/energy/intelligent/index_en.html

[12] *Sustainable Energy Europe Campaign*; sito internet: http://www.sustenergy.org

Recentemente la comunità europea ha emanato la direttiva "*Climate Package",* approvata dal Parlamento europeo il 17 dicembre 2008, che fissa gli obiettivi al 2020 per la politica climatica ed energetica europea: riduzione del 20% delle emissioni di CO2 rispetto al valore del 1990, produzione del 20% della domanda d'energia da fonti rinnovabili e riduzione del 20% dei consumi energetici mediante il miglioramento dell'efficienza nell'uso. Un successivo adattamento di questa quota in funzione delle condizioni di ciascun paese della UE ha portato alla definizione di un obiettivo obbligatorio per l'Italia pari al 17% per il contributo d'energia rinnovabile al 2020 nell'intero bilancio energetico nazionale. In risposta a queste istanze ambientali ed in attuazione delle direttive comunitarie gli stati membri emanano una serie di politiche atte al contenimento dei consumi ed alla promozione della produzione di energia da FER che cercano di rendere competitive sul mercato tecnologie che allo stato attuale si presentano in una situazione di svantaggio.

3.2 Quadro dello Scenario energetico mondiale

Lo scenario futuro del fabbisogno energetico mondiale è caratterizzato da un forte incremento delle emissioni di gas serra generato sia dalla continua crescita del consumo di energia da parte delle comunità occidentali che da un nuovo e preponderante contributo dei paesi in via di sviluppo.

Per confermare questo trend si può osservare la forte correlazione che consumo mondiale di energia ha mostrato con alcuni indicatori macroeconomici: dal 1971 al 2002 i consumi mondiali di energia sono cresciuti del 84,3% con un aumento dei combustibili fossili del 74,9%. Per esplicitare le dinamiche che legano lo sviluppo economico al consumo energetico si possono osservare congiuntamente altri indicatori (fig n°3.1): l'intensità energetica dà un'informazione sull'efficienza con cui si utilizza l'energia essendo il rapporto tra il consumo ed il prodotto interno lordo; in altre parole indica la quantità di chilogrammi equivalenti di petrolio (Kep) consumati per una unità di reddito. Si nota come Russia e Cina abbiano valori molto alti, mentre l'OECD abbia un uso più efficiente rispetto agli USA[13]. *In base agli andamenti di indicatori quali la crescita della popolazione, il prodotto interno lordo, l'intensità energetica ed il fattore medio di emissione si può prevedere un sicuro trend crescente delle emissioni di* CO_2 *che si manterrà ancora a lungo* (COIANTE, 2006).

---

[13] In particolare l'Italia mostra un valore molto basso 0,14 [IEA, 2000]

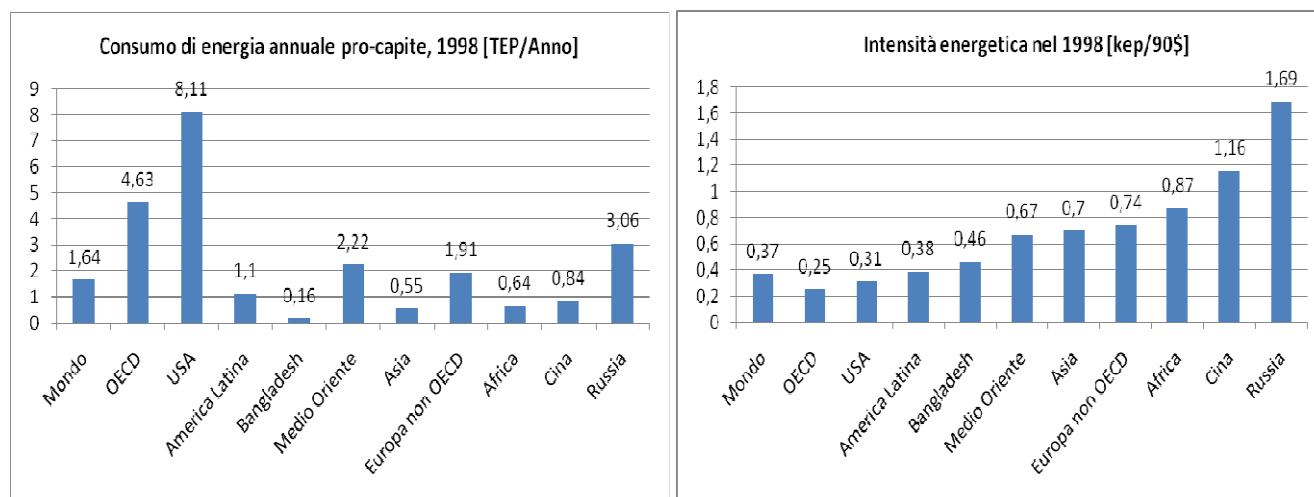



Fig n°3.1 Alcuni indicatori sull'efficienza d'uso dell'energia nel mondo (*IEA, 2000)*

L'Agenzia Internazionale dell'Energia (AIE) delinea uno scenario energetico dal 2005 al 2030 basato sull'osservazione dei trend energetici in funzione dell'indicatore macroeconomico del reddito procapite (AIE 2008). Legando il consumo di energia all'aumento di tale indicatore, e considerando l'insieme delle tecnologie e delle politiche esistenti al 2008 si delinea uno scenario che vede la costante crescita dei consumi energetici mondiali del 1,6% annuo con un valore al 2030 di circa il 45%; ciò si affianca ad un incremento del reddito mondiale del 3,0% da attribuire in larga parte ai contributi dei paesi in via di sviluppo +5,1%, contro il +2,2% delle economie già sviluppate.

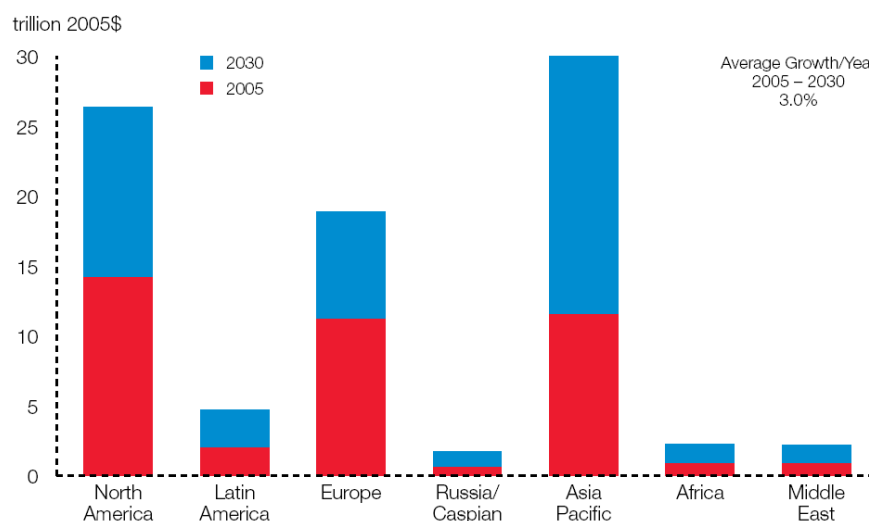



Fig. n°3.2: Incremento del reddito per area geografica dal 2005-2030. (AIE, 2008)

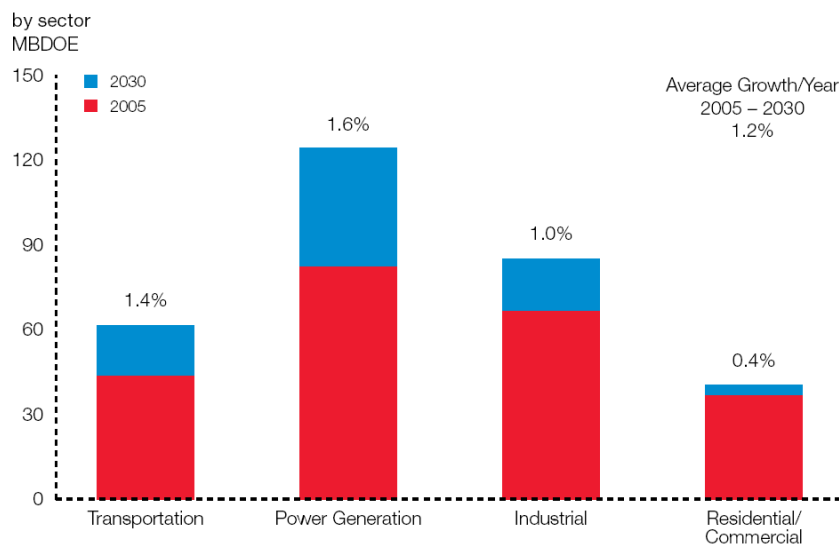



Fig.n°3.3: andamento domanda per settore energetico dal 2005-2030 (AIE, 2008)

Si assisterà ad una urbanizzazione generalizzata soprattutto in Cina ed India con un conseguente forte aumento del consumo di energia elettrica per gli usi civili e per i trasporti; i paesi in via di sviluppo saranno responsabili del 85% dell'incremento dei consumi del pianeta. In particolare è interessato da un forte trend crescente il consumo di combustibili per i trasporti incrementati dalla dimensione sempre più globalizzata del mercato.

3.3 Il territorio come giacimento di energia rinnovabile

Il sole è la fonte di energia primaria[14], in quanto fornita con continuità all'atmosfera, da questa dipendono tutte le altre fonti di energia solare derivate. Pertanto al livello del suolo, oltre ad esserci una quantità di energia solare trasmessa per radiazione diretta, sono presenti una serie di "giacimenti" di energia, immagazzinati tramite processi naturali, in energia cinetica nel vento, energia gravitazionale nei bacini idraulici. La radiazione solare, oltre che irraggiare direttamente la superficie, attraversa l'atmosfera terrestre, cedendo una piccola parte della sua energia all'aria ed al vapore acqueo presente in essa. L'aria calda ed il vapore acqueo si sollevano innescando i fenomeni meteorologici origine di vento e pioggia. La pioggia imbrigliata nei bacini artificiali o naturali costituisce un serbatoio naturale di energia potenziale gravitazionale.

[14] per fonti *energetiche primarie* si intendono quelle dalle quali il lavoro utile è ricavato direttamente (ad esempio per combustione, o per utilizzo di energia meccanica, come nei casi del metano, del carbone, delle biomasse, dei rifiuti, delle energie idrica, geotermica) e per fonti energetiche secondarie quelle risultato di una trasformazione che permette loro di essere usate come sorgenti di energia (esempi sono i combustibili derivati dal petrolio – benzina, gasolio, GPL – il carbone di legna o la stessa energia elettrica).

Radiazione Solare

Atmosfera terrestre

Vento

Radiazione trasmessa

Pioggia

Energia eolica

Energia termica e termoelettrica

Energia fotovoltaica

Energia da Biomasse

Energia Idraulica e idroelettrica

SUOLO

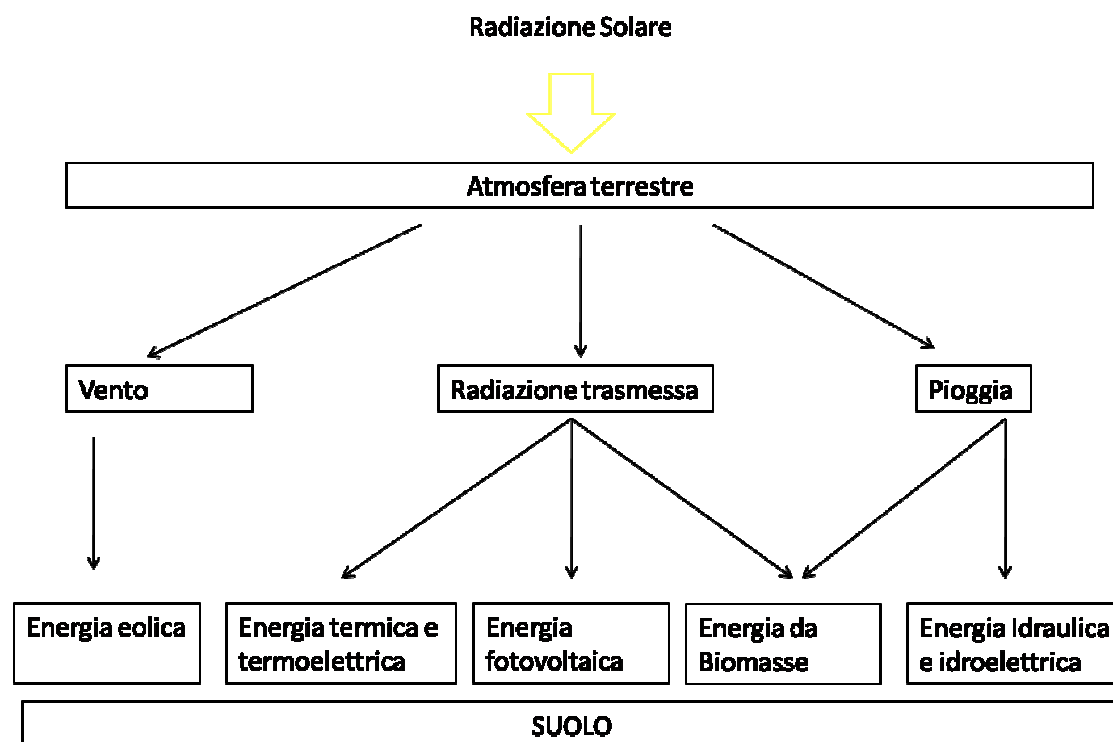



Fig n°3.4 Schema del flusso della energia solare e delle sue trasformazioni (COIANTE 2006)

Da queste forme di energia derivano quelle che comunemente vengono chiamate Fonti di Energia Rinnovabile identificabili nelle seguenti (fig. n°3.4):

energia eolica: energia elettrica o meccanica prodotta dall'energia cinetica del vento;

energia solare termica: ottenuta dalla conversione in calore della radiazione solare;

energia solare termodinamica: elettricità ottenuta attraverso la conversione termoelettrica dell'energia solare termica;

energia fotovoltaica: ottenuta dalla conversione diretta della radiazione solare in elettricità;

energia delle biomasse: calore o elettricità ottenuto per combustione dall'energia chimica accumulata nelle piante grazie al processo di fotosintesi;

energia idroelettrica: elettricità ottenuta mediante la conversione elettromeccanica dei flussi d'acqua in caduta da riserve generate dalle precipitazioni atmosferiche.

La disponibilità al terreno delle energie rinnovabili è fortemente influenzata dalle condizioni locali legate alla morfologia del terreno ed alle proprie caratteristiche micro climatiche.

Per questo motivo, e per analogia concettuale con le risorse energetiche non rinnovabili, le forme assunte dall'energia rinnovabile possono essere pensate come se fossero strettamente inerenti al territorio ed immagazzinate in altrettanti "giacimenti", ciascuno caratterizzato dalla densità superficiale dell'energia che si rende disponibile annualmente per lo sfruttamento energetico (potenziale energetico locale). (COIANTE 2006)

Utilizzare il modello concettuale che porta ad una quantificazione dell'energia rinnovabile per mq di superficie territoriale permette di confrontare le alternative tra le diverse fonti di energia in base alla producibilità annua per mq caratteristica di ogni specifico sito. Il processo di sfruttamento dell'energia passerà quindi per una necessaria occupazione di suolo: *i giacimenti pensati come se appartenessero al territorio, possono essere "coltivati" con le opportune tecnologie di trasformazione per dar luogo ad alcuni prodotti collocabili sul mercato: calore, elettricità, bio-idrocarburi.* (COIANTE 2006)

Le principali differenze tra questi giacimenti e quelli delle energie non rinnovabili sono che queste ultime sono presenti nel territorio immagazzinate come combustibili fossili e come tali si possono conservare e trasportare con facilità, mentre le rinnovabili sono caratterizzate da un apporto casuale istantaneo che necessita di sistemi di conversione ed immagazzinamento; inoltre la bassa densità energetica delle rinnovabili richiede grandi superfici per lo sfruttamento, con il conseguente consumo della risorsa suolo tanto preziosa nelle economie occidentali.

3.4 Opportunità e vincoli allo sviluppo delle FER

Sembra essere opinione diffusa che le fonti rinnovabili possano costituire la soluzione del problema ambientale, ma in realtà esistono numerose limitazioni tecniche e del mercato che mettono ancora in discussione il fatto che sia realmente possibile soddisfare tutto l'attuale fabbisogno energetico del pianeta con il solo potenziale energetico proveniente da fonte rinnovabile.

Partendo dall'assunto che *l'energia va valutata per i servizi che è in grado di fornire e servire* (CLO, 2008) si possono identificare vincoli e opportunità allo sviluppo delle FER che riguardano principalmente tre aspetti: qualitativi, economici ed ambientali.

3.4.1 Aspetto qualitativo: la densità di energia disponibile

Le opportunità ed i vincoli qualitativi discendono dalla caratteristica stessa delle fonti di energia che vedono una straordinaria diffusione ed abbondanza nella superficie terrestre a fronte di una scarsissima concentrazione, mentre la società terziarizzata post-industriale richiede *in primo luogo l'alta concentrazione dell'offerta in uno spazio relativamente ristretto* (CLO 2008).

L'energia solare presenta uno svantaggio immenso in confronto all'energie di tipo terrestre. Quest'ultima è disponibile in forma concentrata, in alcuni casi addirittura troppo concentrata, di conseguenza è possibile ottenere quasi istantaneamente enormi quantità di lavoro che non potrebbe essere ottenuta altrimenti. In mode del tutto opposto l'energia solare ci giunge con una intensità estremamente bassa, come una pioggia molto sottile, quasi una nebbia microscopica nell'impossibilità quindi di poterla convogliare in rivoli, poi ruscelli

*e fiumi, ed alla fine in laghi dove può essere utilizzata nella forma concentrata come si fa per la cascate. (*Nicholas Georgescu-Roegen 1982).

Tale considerazione è però ridimensionabile a partire dalla semplice constatazione che il solo apporto di energia solare che cade annualmente sulla terra è enormemente sovrabbondate rispetto alle esigenze attuali, e ragionevolmente prevedibili, di energia del pianeta. Il *Word Energy Council*, nel congresso mondiale di Tokio del 1995, ha riconosciuto che il potenziale solare presente nei paesi più soleggiati (*sun belt*) sarebbe più che sufficiente a soddisfare le attuali e future esigenze energetiche dell'umanità: *consideriamo il caso ipotetico limite che per produrre con le attuali tecnologie degli impianti fotovoltaici (efficienza di conversione di circa il 5% a livello dell'area impegnata) la quantità totale di energia consumata nel 1999 nei 15 paesi dell'UE (circa 1800 Mtep/anno) sarebbe sufficiente occupare soltanto il 2,6% (167000Kmq) della superficie del deserto del Sahara dove l'insolazione media annuale supera i 2500 Kw per mq* (COIANTE 2006).
Naturalmente questo è un caso limite ma evidenzia come il continuo miglioramento delle tecnologie per la conversione fotovoltaica dell'energia radiante solare e lo sviluppo di nuovi sistemi di produzione da FER possano far pensare ad un futuro sostenibile a medio lungo periodo.
A proposito di questo scenario si può riportare una osservazione proposta da Coiante[15] basata su uno studio del CNR e ENEA (Progetto Energetica 2, 1988) che mirava ad identificare le aree agricole marginali dell'Italia centro meridionale dedicabili alle colture energetiche alternative, secondo il quale era presente un forte trend crescente (1961-71-81) di terreni incolti o aree agricole abbandonate che nell'1981 ammontavano a circa due milioni di ettari.

tipo d'uso	Estensione [Km2]	Quota [%]
aziende agricole (tot 2000)	226200	75,0
Superficie Agricola Utile (SAU)	158340	52,5
seminativi	88037	29,2
legnose permanenti	28976	9,6
prati e pascoli permanenti	41327	13,7
Boschi	45240	15,0
Terreni Marginali e coperture	22620	7,5
Resto del Territorio*	75138	25,0
TOTALE	301338	100,0

*Totale delle aree non utilizzabili a fini agricoli

Fig. n°3.5 Destinazione d'uso del territorio italiano (COIANTE, 2009)

[15] La considerazione è tratta da un'argomentazione più estesa in COIANTE (2006).

Osservando i dati ISTAT del 2001 (fig. n°3.5) sulle coperture superficiali del territorio italiano si nota che le aree marginali (terreni aridi e abbandonati, coperture di edifici industriali e commerciali) ammontano a 22600 km^2, pari al 7.5% del territorio nazionale. Si può supporre che si abbia tutt'ora la stessa situazione ossia di circa 20.000 Kmq di territorio disponibile, in quanto non redditizio, ed accessibile, in quanto coltivato fino al 1961.

Considerando solo l'apporto energetico per irraggiamento diretto che per l'Italia centro-meridionale ed insulare è di 1500-1900 kWh/mq annui, e supponendo che non siano presenti limitazioni tecniche dovute all'intermittenza della fonte energetica, si avrebbe un giacimento accessibile di 30.000 TWh/anno (calcolato col valore prudenziale di 1500 kWh/mq annui). Se si considera l'attuale rendimento di conversione fotovoltaica del 5% (destinato però a raddoppiare nei prossimi 10 anni) si avrebbe una resa di circa 1500 TWh/anno capace di soddisfare abbondantemente la domanda di energia elettrica di tutto il Paese, che nel 2002 ammontava a circa 310 TWh (ENEA 2003). La rimanente quota è disponibile per essere convertita in circa 100 Mtep termici contribuendo al 53% del fabbisogno energia termica registrato dall'ENEA nel 2003. Anche se per avere delle stime più verosimili sarebbe opportuno integrare lo studio identificando quelle aree non disponibili per l'avvenuta presenza di vincoli, derivanti dall'attuale rinnovata attenzione agli aspetti paesaggistici e naturalistici, si può stimare che il costante miglioramento del rendimento di conversione porterà a breve a un raddoppio delle efficienze che dimezzerebbe le aree occupate, con la conseguente possibilità in termini quantitativi di soddisfare l'intero fabbisogno energetico nazionale tramite tecnologia fotovoltaica. *Pertanto, pur con le dovute cautele inerenti alle difficoltà pratiche di attrezzare superfici così grandi, si può concludere che almeno per l'Italia la disponibilità di territorio non costituisce un ostacolo insormontabile per l'impiego delle nuove fonti rinnovabili*. (COIANTE 2006)

Naturalmente, per la loro conformazione territoriale, la situazione degli altri paesi mediterranei (Francia, Spagna, ecc) risulta sicuramente migliore di quella Italiana, mentre *se poi si volesse considerare il notevole potenziale eolico sfruttabile nei paesi del nord Europa, si vedrebbe ulteriormente vanificata la preoccupazione circa la vastità del potenziale accessibile per le nuove fonti rinnovabili*. (COIANTE 2006)

In ogni caso la bassa densità territoriale delle FER rimane un limite al loro sviluppo perché il confronto con le fonti tradizionali, attraverso il parametro della occupazione del suolo, vede le prime fortemente svantaggiate soprattutto in contesti dove la scarsità dei suoli disponibili li carica di un forte valore economico e paesaggistico, come nella maggior parte dei paesi europei. Il limite infatti non è solo il valore economico dei suoli che potrebbero essere interessati da usi più remunerativi, ma è anche la difficoltà di reperire spazi in un territorio che cerca di tutelare i propri paesaggi rurali ed urbani alla ricerca di una valorizzazione delle tradizioni e delle identità locali. Inoltre la ricerca degli spazi disponibili per la "coltivazione dell'energia" porta

necessariamente ad una delocalizzazione della produzione aumentando la dimensione della rete di trasmissione con il conseguente aumento dei costi e la diminuzione dell'efficienza della rete[16].

3.4.2 Aspetto qualitativo: limiti tecnici

Un altro importate limite qualitativo sta nella natura casuale dell'apporto energetico delle FER che mal si adatta alle richieste dei mercati moderni dove viene richiesta *la massima affidabilità e controllabilità, ovvero la disponibilità di poter disporre nel posto e nel momento opportuni [Alberto Clo, Il rebus energetico, Mulino, Bologna 2008, pag 140].*

La produzione da parte delle FER è condizionata dalle condizioni climatiche locali istantanee e quindi non si può prevedere, se non statisticamente, l'entità della produzione che si attesta invariabilmente su valori inferiori a quelli della potenza nominale. La forte differenza stagionale tra le capacità produttive delle FER e rende necessaria la realizzazione di sistemi di accumulo di energia o di sistemi produzione tradizionali per limitare gli effetti di questa intermittenza. *Per assicurare la continuità nel tempo del servizio elettrico bisogna perciò affiancare a quelle fonti – salvo situazioni locali del tutto marginali - una potenza analoga alimentata con risorse convenzionali, il che non determina certo nell'insieme un uso razionale delle risorse energetiche e dei denari investiti.* (CLO 2008)

Questo aspetto è limitato nel caso dell'energia idroelettrica o quella da biomasse. La prima, pur avendo basse densità territoriali di energia disponibile, tende ad accumularsi nei bacini naturali o artificiali, generando giacimenti di notevole concentrazione che possono garantire una buona stabilità alla fornitura di energia. La seconda presenta buone caratteristiche di trasportabilità ed è facilmente stoccabile in depositi che ne possono garantire la costanza della produzione. Attualmente buona parte dell'energia rinnovabile prodotta in Italia è da attribuire all'idroelettrico e al geotermico (fig. n°3.6) nel 2007 l'idroelettrico più il geotermoelettrico costituivano circa il 70% di tutta la produzione rinnovabile italiana.

[16] Ci si riferisce alla efficienza complessiva d'uso finale delle fonti energetiche in ingresso calcolata come rapporto tra (consumi finali) / (Energia in ingresso). La dimensione delle rete di distribuzione in funzione dei consumi è uno dei principali parametri che ne influenza l'efficienza in quanto il trasporto dell'energia implica invariabilmente la perdita di una parte di essa.

FONTE PRIMARIA	Energia disponibile nel 2007[1]	Energia equivalente al petrolio[2] (Mtep)	Quota percentuale (%)
Carbone	17,2 Mtep	17,2	8,85
Gas Naturale	70,0 Mtep	70,0	36,04
Petrolio	82,5 Mtep	82,5	42,48
A) Totale combustibili fossili		*169,7*	*87,37*
Elettricità importata	46.4 TWh	10,2	5.25
Fonti rinnovabili:			
Idroelettrico	38,481 TWh	8,465	4,36
Geotermoelettrico	5,569 TWh	1,225	0,631
➢ Eolico	4,034 TWh	0,887	0,457
➢ Solare fotovoltaico	0.039 TWh	0.008	0,004
➢ Solare termico	0,60 TWh_{th}	0,052	0,027
➢ Biomasse	3,929 TWh	0,864	0,445
➢ RSU	3,025 TWh	0,665	0,342
➢ Biocombustibili	0,363 Mtep	0,363	0,187
➢ Altre rinnovabili[3]		1,75	0,901
B) Totale Fonti Energia Rinnovabile		*14,3*	*7,36*
TOTALE ENERGIA		194,2	100

Fig. n°3.6 Distribuzione delle varie fonti di energia primaria anno 2007 *[COIANTE, 2009]*

Le difficoltà dovute all'intermittenza della fonte mostrano i loro effetti anche nella piccola dimensione di un contesto residenziale dove si è soliti affiancare alla produzione di energia termica per ACS e riscaldamento tramite energia solare. L'apporto di una caldaia a gas o di uno scaldaacqua elettrico al fine di garantire la continuità del servizio. Perciò l'utilizzo di una fonte rinnovabile richiede comunque l'installazione del sistema tradizionale con un conseguente aumento dei costi iniziali e di gestione. Anche nell'ambito delle tecnologie di produzione di energia fotovoltaica, negli impianti *grid-connected* la continuità del servizio elettrico è garantita dalla rete[17]; mentre sembra non essere attualmente percorribile, dal punto di vista economico, la strada di impianti *stand-alone*[18].

La più importate conseguenza dell'intermittenza della fonte energetica è però di natura prettamente tecnica: la rete elettrica deve, per garantire la certezza della fornitura, mantenere un equilibrio tra l'energia immessa e quella consumata che viene gestita tramite la regolazione in tempo reale delle potenze prodotte nelle centrali di produzione.

[17] SI TRATTA DI IMPIANTI FOTOVOLTAICI CHE RIVERSANO L'ENERGIA PRODOTTA NELLA RETE ELETTRICA, PREVIA TRASFORMAZIONE DA CORRENTE CONTINUA IN ALTERNATA. IL PRODUTTORE NON USA L'ENERGIA AUTOPRODOTTA MA QUELLA DELLA RETE GARANTITA, NELLA SUA CONTINUITÀ, DALL'APPORTO NON RINNOVABILE PRESENTE NELLA RETE STESSA.

[18] SI TRATTA DI IMPIANTI NON COLLEGATI ALLA RETE ELETTRICA E CHE GARANTISCONO LA CONTINUITÀ AI PROPRI UTILIZZATORI GRAZIE ALLA PRESENZA DI COSTOSI ACCUMULATORI. TALE SOLUZIONE VIENE UTILIZZATA SONO IN SITUAZIONI MARGINALI OVE NON SIA POSSIBILE COLLEGARSI ALLA RETE O APPROVVIGIONARSI DI ENERGIA IN ALTRO MODO A CAUSA DEI COSTI DEGLI ACCUMULATORI E DEGLI ALTI COSTI DI GESTIONE.

Per mantenere l'equilibrio dinamico la rete si serve di un sofisticato sistema di controllo che permette di seguire l'andamento della domanda in relazione alle variazioni temporali della natura e dell'entità dei carichi. Il sistema di controllo reagisce automaticamente, numerose volte al giorno, per far fronte alle variazioni del carico; ma qualora l'ampiezza dell'intervento superi le capacità ci compensazione della potenza o quelle di velocità di reazione del sistema, viene applicata una procedura di distacco dei carichi per ristabilire l'equilibrio (black out). L'apporto di energia intermittente genera squilibri nella fornitura che limitano di fatto l'apporto delle energie rinnovabili ad una percentuale che viene stimata nel 20%-25% del totale dell'energia immessa nella rete[19].

Fissare però l'entità del limite non è facile, perché esso dipende dalle caratteristiche locali della rete nei suoi carichi e nei suoi generatori. Partendo però dalla considerazione che per ovviare alle variazioni di potenza vengono utilizzati i generatori rotativi a risposta rapida che in Italia coincidono con una parte del parco dei generatori termoelettrici, s*i assume pertanto come riferimento per la grandezza delle variazioni tollerabili del carico la potenza di tali generatori. Uno studio effettuato dall'ENEL negli anni '80 (mai pubblicato perché riservato) quantificava il limite di allacciamento delle fonti intermittenti intorno al 10-15% della potenza rotativa attiva in rete*[20]*. [Domenico Coiante, Fonti rinnovabili in Italia e problematiche per l'applicazione; articolo pubblicato sul sito Aspoitalia 2009].*

Il limite dichiarato da altri paesi europei si attesta tra il 25-35%, ma una serie di considerazioni di natura tecnica porta a supporre per l'Italia un valore più basso. Comunque il *black out* della rete in tutto il Nord Italia, avvenuto la notte del 28 settembre 2003, ha mostrato i limiti della rete. Per un evento casuale ed improvviso la linea di alta tensione che collega la rete italiana con la Svizzera viene interrotta e, per un effetto a catena, si è manifestata una brusca variazione di potenza di circa il 31% che ha messo in crisi il sistema[21].

La diffusione territoriale degli impianti rende comunque improbabili brusche variazioni di tutti gli allacci; *pertanto si può valutare più ottimisticamente che la configurazione del parco di generatori termoelettrici presenti nella rete italiana permetta di collegare impianti a potenza intermittente per un massimo pari a circa il (20 –25)% della potenza rotativa attiva in rete*. (COIANTE, 2009)

---

[19] In realtà il limite dovrebbe riferirsi al totale della potenza rotativa di regolazione connessa istantaneamente alla rete, ossia la potenza di quei sistemi che garantiscono una regolazione istantanea della potenza. Sul piano tecnico si prestano bene a questo scopo i generatori alimentati da combustibili fluidi (olio combustibile, gas naturale). Esistono numerosi studi che indicano tale limite tra il 10-20% della potenza rotativa (A.Van Wijk 1992; I Kurihara 1993).

[20] Alcuni recenti studi (CESI 2000), riconfermano l'esistenza di tale limite senza però darne una valutazione precisa ribadendo la quota tra il 20-25% della potenza rotativa installata.

[21] Alle 3.20 del 28 settembre 2003, la potenza presente in rete era costituita da 21000 MW circa con cui veniva fronteggiata la richiesta del carico. Di questa potenza, 3000 MW provenivano dalla Francia e 2000 MW dalla Svizzera, mentre la potenza generata in Italia ammontava a 16000 MW circa. Quindi, secondo lo studio dell'ENEL sopra citato, la capacità di reazione avrebbe permesso di assorbire bene variazioni di potenza fino a 1600[illegible]2400 MW. [Coiante, 2009]

Tale limite tecnico risulta essere ancora più vincolante se si considera che nella situazione attuale l'Italia, pur raggiungendo il limite massimo dell'energia intermittente sopportabile dalla rete, sarebbe ben lontana dal raggiungimento della quota di FER del 17% prevista per il 2020. Il settore della produzione dell'energia elettrica incide circa il 30% dell'intero mercato dell'energia, ..*si trova un limite di allacciamento in rete intorno al 20% della potenza dei generatori convenzionali connessi, che in termini di energia, corrisponde ad un contributo massimo del 7% del bilancio elettrico e di meno del 3% del bilancio energetico complessivo, contributo significativo ma del tutto marginale dal punto di vista ambientale.*(COIANTE 2006)

In seguito si vedranno alcune proposte per ovviare a questo limite tecnico per alcune tipologie di FER tramite opportune scelte tecniche e politiche di incentivazione.

3.4.3 Aspetto qualitativo: scarsa flessibilità d'uso

Abbiamo già posto l'accento nei punti precedenti sul concetto di densità di energia disponibile e sui limiti tecnici che accompagnano le fonti intermittenti; appare evidente che le FER con un potenziale più promettente quali il fotovoltaico e l'eolico siano direttamente legate alla produzione di energia elettrica. Questo fatto, di per se molto positivo perchè l'energia elettrica è una forma molto pregiata di energia, dal punto di vista ambientale ne limita molto l'incidenza in quanto circa il 30% delle emissioni di CO_2 sono da afferire al consumo elettrico mentre il restante è prodotto dall'uso dei combustibili.

La ripartizione tra fonti di energia primaria per la produzione elettrica mostra ancora chiaramente il limitato contributo delle fonti rinnovabili in questo campo che arriva a circa il 7% nell'Europa dei 15 ma è ancora limitato all'1% a livello planetario.

Potenza efficiente al 2006 (Terna SPA)				
	Produzione elettrica lorda mondiale	Potenza efficente lorda mondiale	Produzione elettrica lorda europea (15)	Potenza efficente lorda europea (15)
Termoelettrico	67,7%	69,6%	58,00%	57,0%
Nucleare	14,8%	8,4%	18%	30,0%
Idroelettrico	16,6%	20,1%	17%	10,0%
Eolico, fotovolatico, geotermoelettrico	0,9%	1,9%	7%	3,0%

Fig. n°3.7 Ripartizione per fonte della produzione elettrica lorda e della Potenza efficiente al 2006 citato da (COCCO 2008)

Inoltre il settore dei trasporti è interessato da un forte fenomeno di crescita ancora una volta caratterizzato dal peso dei paesi emergenti (fign°3.8). Nel 2005 i trasporti, compresi i veicoli privati, navi treni e aeroplani, erano responsabili del 19% del totale della domanda di energia, ma lo scenario del IEA per il 2030 ne prevede un

incremento del 40% in 25 anni. Le proiezioni statistiche mostrano un forte collegamento tra la crescita economica e la domanda di trasporto che in questi anni ha visto come protagonista il settore aereo. Nel 2005 la domanda di energia per il trasporto era soddisfatta circa al 98% dal petrolio o suoi derivati, per il 2030 se ne prevede una lieve flessione sino al 94% in favore della dei bio carburanti (5%) e del gas naturale (1%)[22]. In ogni caso in valore assoluto la richiesta di carburanti crescerà notevolmente, mettendo a dura prova le capacità attuali di produzione, passando da 44 MBDOE a quasi 62 MBDOE (fig. n°9).

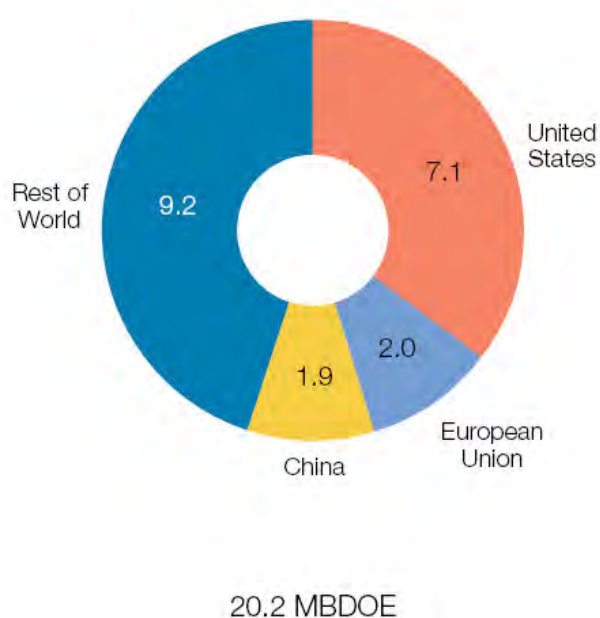



Fig n°8 scenario 2005 -2030 distribuzione geografica della domanda di trasporto (ExxonMobil)

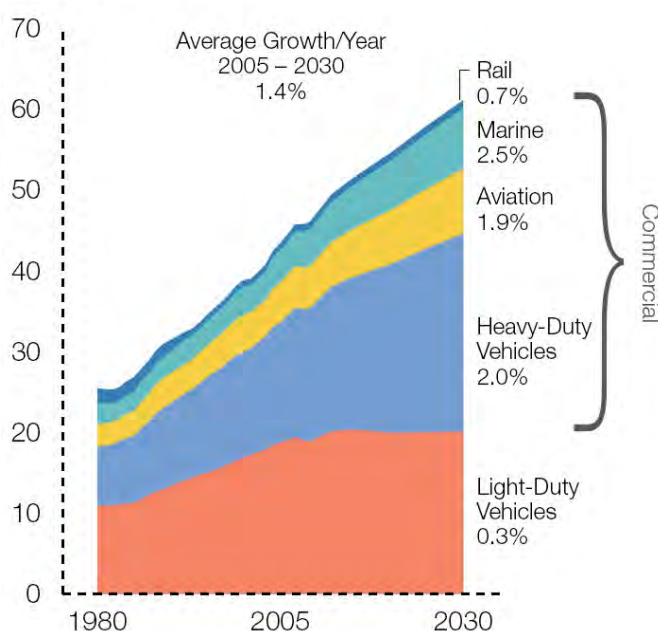



Fig n°9 scenario 2005 -2030 della domanda di energia per il trasporto (ExxonMobil)

Dallo scenario evolutivo della domanda di energia per il trasporto si può notare come si preveda una diminuzione dell'influenza del trasporto privato[23]; ciò sarà generato non dalla diminuzione del parco macchine ma dalle politiche di contenimento dei consumi e da tecnologie sempre più efficienti. Al contrario sarà sempre maggiore l'influenza dei trasporti commerciali per i quali non sono ancora presenti politiche o tecnologie per il contenimento dei consumi. In particolare il traffico pesante rappresenterà il 60% della domanda commerciale e l'incremento del fabbisogno di energia legato a motivi commerciali costituirà oltre il 90% del totale dell'aumento tra il 2005 ed il 2030. Tale incremento è strettamente legato alla globalizzazione dell'economia

[22] Dati ricavati dalla pubblicazione *ExxonMobil, The Outlook for Energy: A View to 2030*

[23] Light-duty vehicles ossia auto personali e camion leggeri; heavy-duty vehicles sono i Camion pesanti ed i Bus.

che includerà sempre più i paesi in via di sviluppo. In questo scenario risulta evidente come il confinamento delle FER alla produzione di energia elettrica diventi una forte limitazione per il conseguimento dell'obiettivo della diminuzione delle emissioni di gas serra, in quanto il peso dei trasporti è destinato a diventare preponderante.

3.4.4 Aspetti economici

Analogamente a qualunque altra attività di impresa, la realizzazione di un impianto alimentato da fonti energetiche rinnovabili va valutata considerando sia la fattibilità tecnica che quella economica. Per realizzare l'impianto sarà quindi necessario l'investimento del capitale che, a medio-breve termine, dovrà ripagarsi e produrre degli utili.

Le risorse rinnovabili,o di flusso, soffrono di un grave handicap economico rispetto a quelle non rinnovabili o di stock. (CLO 2008)

Se da un lato le rinnovabili generano minori costi sociali, per altro non direttamente esternalizzabili nei prezzi, dall'altro necessitano di notevoli investimenti iniziali che sono caratterizzati da tempi di ritorno molto lunghi. Al contrario la produzione da fonti non rinnovabili è in grado di attrarre un notevole flusso di capitali e produrre utili in tempi molto più brevi.

Considerando che la produzione energetica da fonti rinnovabili consiste per la maggior parte in energia elettrica è evidente che queste saranno competitive nel mercato quando il costo del kWh da rinnovabili sarà confrontabile con quello da fossili.

L'International Energy Agency e L'OECD hanno proposto un metodo per la valutazione del costo dell'energia (1991),utile per il confronto tra le alternative, in base al quale Coiante (2006) ha calcolato i costi di produzione al Kwh dei principali sistemi di produzione di energia.

tipo impianto	**euro/Kwh**
Centrale a policombustibili fossili	0,066
Centrale a turbogas	0,177
Centrale eolica (grande)	0,06
Centrale fotovoltica (grande)	0,379
Centrale termoelettrica a biomasse	0,117
Centrale solare termodinamica (CRS)	0,167
Centrale solare termodinamica (DCS)	0,149

CRS: Central Receiver Sistem

DCS: Ditributed Collector Sistem

Fig. n°3.10 Costi di produzione da diversi tipi di centrale (COIANTE 2006)

Il confronto tra le alternative deve essere fatto tra le centrali a FER e le Centrali a policombustibili fossili in quanto queste ultime presentano i prezzi più bassi e costituiscono la quasi totalità del mercato. L'eolico ha

raggiunto l'importante traguardo di uguagliare i costi del termoelettrico, tuttavia continua ad essere in una posizione di svantaggio che necessita di interventi di incentivazione statale; questo accade perché non è solo il costo dell'unità di produzione energetica a determinare il successo di un sistema di produzione rispetto ad un altro, ma il vero confronto si sposta su considerazioni sul valore.

Il valore dell'unità dell'energia è determinato dal servizio reso ed è caratterizzabile secondo due aspetti: l'entità e la qualità. Il primo aspetto è facilmente riferibile alla sua capacità di produrre lavoro quantificabile nel kwh che naturalmente è sempre dello stesso tipo a prescindere dalla fonte utilizzata per produrlo. Il secondo aspetto è più prezioso determina la differenza di valore tra i tipi di energia ed è sostanzialmente riferibile alla affidabilità della fornitura.

In un mercato ideale privo di vincoli protezionistici, nel tentativo di semplificare grossolanamente il discorso per necessità di sintesi, si può abbozzare il seguente bilancio: Valore = prezzo = costo + profitto = Costo + Premio per la qualità. (COIANTE 2006)

Quindi un confronto tra l'energia termoelettrica tradizionale e quella eolica, visti i costi simili si sposta sulla valutazione dei diversi livelli di qualità forniti; la qual cosa porta in forte svantaggio la fonte rinnovabile caratterizzata da aleatorietà della fornitura incapacità di regolazione della produzione e limiti di stabilità della rete. Queste limitazioni nella qualità dell'energia portano anche l'eolico ad essere economicamente non redditizio se paragonato alle centrali termoelettriche, nonostante abbia raggiunto una parità dei costi di produzione. Per sviluppare il ragionamento consideriamo la spesa annua sostenuta dal *gestore della rete* elettrica come la somma di una componete fissa ed una proporzionale all'energia prodotta ossia alla richiesta di carico presente in rete.

(1) $SA = aP + b(AEP)$[24] con
P = costi fissi
AEP = produzione energetica annua
a = potenza impianto
b = costo combustibile
SA = spesa annua

Ipotizziamo dunque un mercato dove si preveda un futuro con un'influenza sempre maggiore delle FER nella alimentazione della rete. Nella rete dovranno comunque essere presenti una certa quantità di generatori alimentati da fonti tradizionali per limitare gli effetti destabilizzanti delle energie intermittenti. Dal punto di vista del gestore può essere assegnato ad ogni kWh prodotto da FER un credito di valore corrispondente ai costi evitati rispetto alla produzione termoelettrica. Tale credito si compone di due fattori: un *credito di energia* in quanto le fonti energetiche (solare, fotovoltaico, termodinamico) evitano la spesa per il combustibile influendo direttamente sul secondo membro della (1), ed un *credito di potenza* che però non è garantito in quantità pari alla potenza installata. Quindi a causa della intermittenza delle FER, che rendono comunque

[24] Per una trattazione più completa si rimanda al testo di Coiante (2006)

necessaria la costruzione di impianti tradizionali a supporto di pari potenza, il costo evitato relativo al primo membro della (1) è da considerare quasi nullo[25]. Detto in altre parole, da una parte le fonti rinnovabili producono un innegabile risparmio di combustibili, dall'altra necessitano sempre della realizzazione di centrali tradizionali aumentando i costi sopportati dal gestore che verrebbe spinto ad utilizzare ancora la fonte tradizionale. Una vera competitività delle FER può essere teorizzata aggiungendo alla (1) un parametro che rappresenti il credito ambientale proporzionale al danno ambientale evitato.

la forma corretta della spesa annuale diverrebbe:

SA = a P + b (AEP) + d (AEP)

Viene aggiunto alla spesa annuale un terzo termine, proporzionale all'energia prodotta, che tiene conto della riparazione o della prevenzione del danno specifico ambientale, "d", collegato alla erogazione agli utenti della quantità (AEP) di energia elettrica. Poiché questo termine può ritenersi trascurabile nel caso degli impianti delle fonti rinnovabili, esso assume il significato di un ulteriore costo evitato, che viene accreditato tale e quale in favore del valore del kWh rinnovabile.

Ma la determinazione di tale quantità monetaria è quanto mai complicata e difficilmente condivisibile. Esistono inoltre le difficoltà tecniche del modello di connessione diretta alla rete elettrica che marginalizzano la produzione da FER sia dal punto di vista economico che soprattutto ambientale[26]. È comunque in virtù di questo credito che sono giustificabili interventi di incentivazione delle FER quali i Certificati Verdi.

Se consideriamo grossolanamente che la potenza termoelettrica attiva nella rete nazionale è circa pari a 50000 MW, assumendo un limite di tolleranza di energia intermittente del 20% si ottiene un massimo di 10000 MW di energia prodotta da FER. Considerando un fattore di carico di 0,22[27] annualmente si arriverebbe a produrre 22 TWh pari a circa è 8% del fabbisogno odierno di elettricità e alla rimozione di circa 15 milioni di tonnellate di CO2. I numeri sono senza dubbio interessanti da parte degli operatori economici operanti nelle fonti rinnovabili, il che apre grandi prospettive di investimenti, ma dal punto di vista ambientale rimane tuttavia marginale: *infatti, in termini di energia primaria, il contributo di 22 TWh delle due fonti rinnovabili corrisponde al 2,6% del bilancio energetico totale [ENEA, 2003]*.

Dagli spunti di riflessione proposti appare evidente che se si potesse riconoscere un credito di potenza adeguato alle FER si potrebbe raggiungere, con i prossimi sviluppi tecnologici, sia una vera competitività economica che un reale beneficio ambientale. Il problema si sposta quindi sulla intermittenza della fonte:

[25] In realtà una piccola quota di credito di potenza è assegnabile ma dipende molto dalla posizione relativa dell'impianto rispetto alla rete e non è ancora definitivamente accettata dai gestori.

[26] Ogni kWh prodotto da fonte rinnovabile immesso nella rete evita il rilascio in atmosfera di: 720g di CO2, 1,9g di SOx, 0,8g di NOx, 0,09g di polveri sottili (Enel, 2002)

[27]

riducendo questa influenza si potrebbe innalzare il limite di connessione alla rete, ciò aumenterebbe il credito di potenza rendendo più competitive le FER e generando nel contempo benefici ambientali non più trascurabili.

3.4.5 Aspetti ambientali

La produzione di energia da FER, produce dei benefici diretti riguardo all'immissione nell'atmosfera di anidride carbonica, ritenuta la principale responsabile dell'effetto serra, ma non è completamente priva di impatti sul territorio. Naturalmente alla scala del piccolo impianto gli impatti sono contenuti, ma in una prospettiva di un utilizzo per la produzione di grandi potenze vi sono alcuni aspetti non trascurabili riguardanti l'impatto paesaggistico, il consumo del suolo e di habitat pregiati, gli effetti sul regime d'uso dei suoli.

L'estensione territoriale, e quindi la ricerca degli spazi, è forse la principale limitazione all'uso delle FER: anche se, per quanto già accennato, è presente nei paesi europei una gran quantità di terreni marginali in teoria utilizzabili per la produzione di energia, un effettivo uso degli stessi non è altrettanto facilmente ipotizzabile. In particolare la definizione di marginalità non è condizione sufficiente per considerare un'area utilizzabile per la coltivazione dell'energia. Seguendo un diverso criterio di valutazione, basato sugli usi sociali, come ad esempio quelli naturalistici o quelli turistici, gli stessi terreni possono essere considerati niente affatto marginali. La domanda di godimento di questi beni è in costante aumento ed è anche portatrice di interessi economici più o meno forti. Il paesaggio è la principale fonte di reddito delle economie locali turistiche affermate ed ha assunto una importanza strategica nelle politiche di sviluppo rurale espresse a livello comunitario e locale[28]. L'inserimento paesaggistico di grandi superfici riflettenti o di estesi parchi eolici genera un impatto paesaggistico di non semplice mitigazione, anche se a favore di ciò si potrebbe obiettare che la modularità degli impianti e l'assenza di emissioni permetterebbero un facile ripristino delle condizioni iniziali una volta finita la vita utile dell'impianto. Inoltre la presenza di robusti sistemi di incentivazioni per la produzione da FER mette in competizione queste ultime con lo stesso uso agricolo dei terreni gravato da una costante situazione di crisi.

Altro aspetto da esaminare per definire il livello di sostenibilità ambientale delle FER è che esse non sono totalmente prive di emissioni. In effetti per considerare correttamente il bilancio di CO_2 sarebbe necessario valutare le emissioni risparmiate come la differenza tra quelle prodotte per realizzare e gestire l'impianto e quelle evitate dalla sua attività di produzione pulita. In questo conto bisognerebbe considerare anche le emissioni generate dalla quota di potenza termoelettrica necessaria garantire per compensare l'intermittenza delle FER. In particolare per le FER si può definire il *tempo di restituzione dell'energia ossia Energy Pay Back Time (EPBT)* il tempo che un impianto, una volta installato ed operativo, impiega ad erogare la quantità di energia che è stata consumata durante tutto il ciclo a partire dai materiali per la costruzione alle operazioni di installazione. Si definisce anche un altro *fattore di guadagno energetico* (EY) costituito dal rapporto tra la

[28] Il Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale (FEASR) e le politiche ad esso collegate pongono al centro della strategia di sviluppo la tutela e la valorizzazione dei paesaggi e dei valori tradizionali legati alle comunità rurali.

quantità di energia erogabile nelle vita vita utile dell'impianto e quella che è necessaria alla sua realizzazione. In seguito si affronterà il tema degli impatti delle FER e dell'*EPBT* esplicitandoli per varie tecnologie di produzione, facendo riferimento all'ampia letteratura già disponibile.

3.5 Conclusioni

Da queste considerazioni risulta naturale la definizione di due potenziali riferiti alle FER: *il potenziale energetico accessibile, definito come la quantità di energia che sarebbe possibile ricavare annualmente da ciascuna fonte con la tecnologia attuale indipendentemente dalla presenza di limitazioni tecniche ed economiche ed Il potenziale praticabile, anche detto potenziale tecnico, che è definito come l'energia che potrebbe essere prodotta annualmente utilizzando le attuali tecnologie delle fonti rinnovabili in presenza dei limiti tecnici e degli ostacoli di compatibilità territoriale con le altre attività economiche prioritarie* (COIANTE 2009)

La definizione del potenziale tecnico è fondamentale per la redazione di efficaci politiche di sviluppo delle FER non inquinate da considerazioni idealistiche, ma occorre però conoscere le più verosimili possibilità di sviluppo delle tecnologie al fine di non essere impreparati e delineare strategie di ampia portata temporale.

Nella fase della valutazione delle alternative progettuali (Cap 7 e 9) si proporrà di esplicitare per ogni tecnologia tre importanti classi di vincolo alla loro diffusione in ambito urbano: vincoli tecnico-economici; vincoli normativi; vincoli gestionali - culturali.

Vincoli tecnico-economici: questi due aspetti sono fortemente legati in quanto, pur esistendo degli edifici in cui la tecnologia è proprio inutilizzabile, generalmente i costi crescono di pari passo con le complicazioni tecniche fino a rendere l'investimento non accettabile;

Vincoli normativi: si tratta di eventuali norme d'uso del suolo, regolamenti urbanistici o altra normativa tecnica che ne ostacola l'utilizzo di una tecnologia.

Vincoli culturali o gestionali: si tratta di quell'insieme di consuetudini operative e di pregiudizi culturali dei semplici cittadini o anche di enti istituzionali che ostacolano la diffusione di alcune soluzioni tecnologiche (ad esempio gli impianti centralizzati). Sono i tipici vincoli che possono essere proficuamente superati con opportune attività di informazione ed educazione della collettività.

Riferimenti bibliografici

Francesco Tinti (2008); Geotermia per la climatizzazione; Flaccovio Dario; Palermo (2008); ISBN: 8877588306

Alberto Clo, *Il rebus energetico*, Mulino, Bologna 2008

Domenico Coiante (2006), *Le nuove fonti di energia rinnovabile*, Franco Angeli, Milano 2006

International Energy Agency (IEA 2008), *World Energy Outlook, 2008*; http://www.iea.org/weo/

Nicholas Georgescu-Roegen 1982*, cit in Alberto Clo, Il rebus energetico, Mulino, Bologna 2008, pag 140*

Domenico Coiante (2009); *Fonti rinnovabili in Italia e problematiche per l'applicazione; articolo Aspoitalia 2009; http://www.aspoitalia.it/archivio-articoli*

D. Cocco, C. Palomba, P. Puddu; Tecnologie delle energie rinnovabili, SGE padova 2008

ExxonMobil 2009, *The Outlook for Energy: A View to 2030*; http://www.exxonmobil.com/Corporate/files/news_pub_eo.pdf

4 Il contesto teorico della ricerca

4.1 Definizione degli obiettivi della ricerca

Con l'avvento delle recenti direttive comunitarie che pongono stringenti limiti alle emissioni di GAS serra per il 2020 il tema dell'efficienza energetica è diventato una delle priorità dei governi nazionali. Il settore residenziale, responsabile di circa il 40% delle emissioni, è ormai comunitariamente riconosciuto come uno degli elementi chiave per il perseguimento dell'obiettivo. La tematica dell'efficienza energetica può essere divisa in due filoni profondamente differenti per approccio e tecniche utilizzabili: il progetto di nuovi insediamenti ed il recupero del patrimonio edilizio esistente. I nuovi edifici, o, ancora meglio, la realizzazione ex novo di interi quartieri, costituiscono un'occasione per applicare i criteri di risparmio energetico e di produzione da FER integrando le tecnologie disponibili nella maniera ottimale fin dalla definizione degli aspetti spaziali e distributivi del piano attuativo di insediamento. In questo caso il problema diventa squisitamente progettuale incentrandosi sulla sperimentazione di nuove tecnologie e materiali o sullo studio di forme insediative sostenibili[1]. Dal punto di vista del planner la ricerca si può incentrare sulle metodologie di scelta dell'area e sulla definizione di criteri di supporto ed indirizzo all'attività progettuale e di valutazione.

Se da una parte le tecnologie esistenti rendono già possibile la realizzazione di nuovi insediamenti con edifici a consumo quasi zero, nel declinare questo paradigma negli ambiti urbani consolidati si incontrano ancora notevoli difficoltà tecniche, normative e culturali. Nel tessuto urbano consolidato alcune tecnologie possono non essere utilizzabili a causa di un'effettiva impossibilità tecnica o per costi troppo elevati in rapporto ai benefici. Inoltre lo sviluppo delle tecnologie per la produzione da FER spesso si scontra con le istanze di tutela paesaggistica e dei beni culturali molto forti e radicate nel territorio nazionale, oppure trova ostacoli inattesi nei Piani Regolatori Generali e nei Regolamenti Edilizi non adeguati alle nuove esigenze. Il miglioramento della efficienza energetica del patrimonio edificato esistente, che in Italia per il 93% è stato edificato senza efficaci normative per il contenimento del consumo energetico, non è solo una problematica tecnica di tipo architettonico – ingegneristico, ma irrompe prepotentemente nell'agenda delle priorità delle politiche per la gestione delle trasformazioni urbane coinvolgendo, a più livelli, planner, decisori e stakeholders. Senza l'adeguata sinergia tra lo sviluppo di nuove tecnologie e lo studio di normative e regolamenti che ne permettano e guidino l'utilizzo responsabile, non sarà possibile incidere in maniera significativa sui consumi generati dall'immenso patrimonio edificato esistente (PASCALI, 2008). Grazie a forti politiche di incentivazione nazionali ed unitamente al recente sviluppo di sempre più raffinate tecnologie di risparmio energetico e di bio-architettura, la riqualificazione del patrimonio edilizio esistente è interessata da rinnovati interessi economici che, in controtendenza con i fenomeni riscontrati nelle principali città europee, può diventare un'opportunità per la ricerca di nuovi spazi residenziali all'interno

[1] Per esempio: BedZED o "*Beddington Zero Energy Development*" è un piccolo quartiere a sud di Londra, a Sutton, realizzato tra il 2000 e il 2002; il quartiere solare *Vauban di Friburgo* e altri http://www.architetturaecosostenibile.it/quartiere-ecosostenibile.html

della città consolidata. Perciò le tematiche del risparmio energetico e le politiche per la riqualificazione dei centri storici e delle periferie sono fortemente legate: gli incentivi nazionali per il miglioramento della efficienza energetica, adeguatamente supportati da politiche locali, possono rendere economicamente vantaggioso il recupero degli edifici nei centri urbani dando una opportunità per limitare la piaga della dispersione urbana.

All'interno di scenari nazionali, ed internazionali, caratterizzate da sempre più limitate risorse economiche, sia pubbliche che private, i decisori si trovano a dover effettuare scelte in contesti conflittuali, caricati di forti aspettative economiche e politiche, su aspetti di natura tecnica non sempre facilmente comprensibili ed integrabili con le tematiche tradizionalmente inerenti la pianificazione urbana.

Nel caso delle nuove costruzioni il processo decisionale si configura come una procedura di ottimizzazione quanto-qualitativa del problema, mentre, nel caso del patrimonio esistente, il processo dovrà fare i conti con forti gradi di incertezza che daranno origine ad una problema decisionale spiccatamente semi-strutturato (*semi-structured decision problem*, TURBAN 2005). Naturalmente nella pianificazione urbana e territoriale i processi decisionali hanno sempre una certa indeterminatezza data dal forte peso della componente umana; ma l'aspetto peculiare di questo tema è la forte indeterminatezza dei dati di input e la mancata univocità delle metodologie di risoluzione di caso di una nuova costruzione le grandezze fisiche, e quindi i parametri oggettivi che definiscono la qualità dell'intervento nei suoi aspetti energetici, di costo e gestionali, sono da considerarsi noti, mentre, nel caso del patrimonio edilizio esistente, tali informazioni possono solo essere stimate rendendo ancora più difficile il processo valutativo tra diverse alternative.

Generalmente le amministrazioni comunali hanno data base informatici abbastanza dettagliati relativi all'attività edilizia più recente ma, man mano che si torna indietro nel tempo le informazioni diventano sempre più vaghe ed inaccessibili in quanto anche se teoricamente possedute sono conservate in archivi costituiti da faldoni cartacei. Inoltre, anche se queste informazioni fossero accessibili, la conoscenza non potrebbe che essere parziale, e spesso fuorviante, in quanto la maggior parte degli edifici di vecchia data ha subito cambiamenti rispetto alla condizione originale di impianti, strutture e partizioni interne dei quali l'amministrazione non sempre ha riscontro. La conoscenza riguardo lo stato attuale del patrimonio edificato deve essere cercata in coloro che lo abitano ed in coloro che ci lavorano a diretto contatto come: imprese di costruzioni, progettisti e funzionari tecnici delle amministrazioni.

A questo problema di conoscibilità dell'oggetto della valutazione si aggiunge anche un limite della conoscenza degli attori stessi che prendono parte al processo decisionale: essi appartengono a contesti culturali molto diversi, per la maggioranza di estrazione non tecnica, che non possono essere al corrente delle opportunità fornite dalle nuove tecnologie; inoltre la pluralità di soluzioni tecnologiche disponibili e la loro rapida evoluzione rendono difficile costruire un quadro delle possibili alternative anche per gli operatori del settore. A completare il quadro caratterizzato da una forte opacità dell'evaluando (BEZZI 2003) concorre la pluralità degli interessi e dei decisori che non facilita l'individuazione di valori e regole

comuni che guidino il processo verso una soluzione condivisa o condivisibile. Il fulcro del problema è la definizione di una conoscenza condivisa tra gli attori che, pur tenendo conto della non completa conoscibilità dell'oggetto stesso della decision, fissi dei punti fermi per orientare i criteri ed i valori su cui basare la decisione. Ciò può essere raggiunto in maniera più efficace (Bezzi 2007) mediante un processo conoscitivo partecipato tra gli attori del processo, decisori, imprese, cittadini che, costruendo una conoscenza basata sui rispettivi bagagli esperienziali, riesca ad individuare dei criteri e dei valori, reali in quanto condivisi, su cui progettare e valutare le proposte. Il processo di costruizione della conoscenza, cosi come quello di formazione e valutazione del piano non potrà quindi che essere iterativo e non lineare (C. Steinitz 2009), caratterizzato da frequenti cambiamenti di scala e di approfondimento tematico. Saranno il tempo e il grado di condivisione dei risultati a decretare la fine del processo con una decisione che si può concretizzare in un piano o programma per la trasformazione della città.

Scopo di questo studio è proporre una metodologia per la definizione di uno Strumento di Aiuto alla Decisione (DSS) che possa favorire il processo decisionale relativo alla formazione di piani e programmi per il miglioramento dell'efficienza energetica del patrimonio edilizio in ambito urbano, tenendo conto della natura semi strutturata iterativa e partecipata del problema. In altre parole l'obiettivo della ricerca è definire e sperimentare una metodologia capace di combinare la conoscenza esperta degli attori del processo con i dati già disponibili a livello territoriale per costruzione uno strumento flessibile finalizzato alla comparazione di scenari alternativi riferiti alle per il miglioramento della sostenibilità insediativa nel campo energetico.

Il DSS dovrà perciò contribuire al riordino delle conoscenze esperte e dei dati disponibili al fine di strutturare una rappresentazione dello Stato Attuale dell'efficienza energetica del patrimonio edificato basato su valori ed indicatori condivisi. Dovrà essere anche in grado di simulare le modificazioni del proprio stato in base alle ipotesi di progettuali proposte dagli attori dei processi, in modo da fornire i parametri necessari alla valutazione tra alternative. Uno dei punti centrali della ricerca risulta essere la costruzione di uno strumento con cui a simulare il bilancio energetico comunale in funzione delle caratteristiche del patrimonio edilizio dando rilievo alle peculiarità delle diverse parti di città: si può quindi parlare di *Spatial Decision Support System* (SDSS) (DENHAM, 1991) .

Il bilancio energetico di un solo edificio può essere determinato con precisione tramite opportuni procedimenti analitici che necessitano di un rilievo preciso delle caratteristiche dell'apparecchiatura edilizia, oppure con rilievi strumentali. Ma la complessità di un sistema urbano porterà inevitabilmente ad approntare procedure di generalizzazione essendo impossibile, per tempi e costi, un'attività di rilevamento puntuale. Il modello si dovrà basare necessariamente su dati reperibili alla scala territoriale, analizzabili con convenienti strumenti informatici, e dovrà essere confrontato con dati rilevati in modo puntuale che ne possano in qualche modo validare la generalizzazione. Lo sviluppo del modello in ambiente GIS, con precisi riferimenti spaziali, permetterà il confronto con altri tematismi territoriali e renderà agevole

l'implementazione dei dati. Inoltre il motore GIS può essere una base per la visualizzazione grafica anche tridimensionale, utile per lo studio degli impatti paesaggistici, facilmente divulgabile anche ad un pubblico non esperto tramite portali web appositamente realizzati.

Lo sviluppo della metodologia, oggetto di questa ricerca, dovrà confrontarsi con i molti aspetti che la compongono tra i quali possiamo individuare tre punti nodali principali:

- *la realizzazione dello strumento partecipativo* che permetta la consultazione dei risultati delle simulazioni, anche ad un'utenza non esperta, tramite la scelta di opportuni parametri con cui confrontare gli scenari, e la visualizzazione grafica di carte e grafici. In questo aspetto è necessario inquadrare con precisione la funzione del DSS all'interno del processo di piano facendo riferimento al quadro partecipativo - valutativo che lo legittima;
- *l'implementazione di un modello* che simuli il bilancio energetico a scala urbana e non perda i necessari riferimenti alle caratteristiche tipologiche e spaziali dell'insediamento che sono alla base delle politiche di valorizzazione e riqualificazione in ambito urbano. In questo aspetto sarà fondamentale la scelta del metodologia di calcolo in base alla tipologia dei dati accessibili sul patrimonio edilizio. La raccolta dei dati in maniera economica ed efficace è uno dei punti nodali della creazione del modello;
- *La definizione del sistema di aiuto alla decisione* che possa confrontare i risultati del modello con i tematismi relativi alla gestione del territorio in modo da consentire letture comparate tra le caratteristiche energetiche del patrimonio edilizio e le normative d'uso dei suoli. Tale strumento dovrà essere di facile utilizzo per essere efficace nella simulazione ex ante degli scenari futuri indotti dalle politiche comunali all'interno dei tempi, sempre ristretti, lasciati ai processi valutativi.

4.1.1 Realizzazione dello strumento partecipativo

Lo strumento di aiuto alla decisione sarà inquadrato nella fase del processo partecipativo relativa alla stipulazione dei valori valutativi condivisi[2]. In questo senso fornirà una simulazione degli effetti delle politiche rispetto ad alcuni indicatori quantitativi e qualitativi che faciliteranno il confronto ex ante tra alternative da parte dei decisori degli attori coinvolti. L'interazione con gli attori del processo partecipativo potrà essere sviluppata a vari livelli all'interno della metodologia: si può consentire una semplice

[2] Claudio Bezzi nel *Disegno della ricerca Valutativa* (2003) suddivide il processo di valutazione in nove fasi: sei riferibili al processo meta valutativo e tre a quello tecnico operativo. La stipulazione dei valori valutativi è l'ultima fase afferibile al processo meta-valutativo durante il quale si stabiliscono le caratteristiche dell'evaluando rispetto alle quali si effettuerà la valutazione stessa. Su questo argomento Claudio Bezzi precisa nell'intervento "*Contesto come testo e metodo valutativo come linguaggio"* del Decimo Congresso AIV ROMA, 19-21 APRILE 2007, la necessità di creare uno spazio semantico condiviso tra gli attori del processo valutativo, pena l'inefficacia delle proposizioni della valutazione stessa.

visualizzazione ed interrogazione dei risultati del modello, oppure si potrebbero implementare sistemi di interazione più profonda tra modello e utente. In prima istanza si potrebbe implementare un portale web per l'interrogazione dei tematismi territoriali inerenti al risparmio energetico, magari collegato al web-gis ufficiale dell'amministrazione comunale, mantenendo la partecipazione al livello meramente informativo - consultivo. Spingendosi più in alto nella scala della partecipazione si potrebbero sviluppare metodi di interazione degli utenti con il data base di input che possano portare ad un processo di raffinazione continua della metodologia stessa. Come si vedrà meglio durante lo sviluppo dello studio i dati iniziali riguardo alle caratteristiche degli edifici sono il principale limite della metodologia perciò studiare metodi di partecipazione al livello del singolo cittadino probabilmente è l'unico modo per colmare questa lacuna.

4.1.2 Creazione del modello

La prima parte della ricerca è la sperimentazione di metodi di trattamento dei dati adatti a simulare il comportamento energetico del patrimonio edilizio partendo da poche informazioni recuperabili alla scala urbana (quali per esempio tipologie edilizie, orientamento, materiali, stato di vetustà); su tale aspetto si concentrerà principalmente lo studio dello stato dell'arte e quindi l'oggetto della tesi.

La stima del fabbisogno energetico e dei consumi del settore residenziale, che possa mantenere una precisione spaziale adatta alla gestione dei fenomeni urbani, è un campo di grande interesse nello studio dei rapporti tra la pianificazione energetica e quella urbana. Gli approcci attualmente riscontrati in letteratura possono distinguersi tra top-down e bottom-up (SWAN e altri, 2009). Gli approcci top-down sono normalmente utilizzati per la previsione dei consumi nell'ambito della pianificazione energetica comunale e si basano su legami di natura inferenziale tra i dati di consumo registrati dalle aziende fornitrici di energia e variabili di natura macro economica. Questi modelli possono essere molto accurati nella stima, ma sono privi di riferimenti spaziali di dettaglio e rilevano una certa difficoltà a simulare gli effetti dei progressi tecnologici (HAAS,1998, ROBINSON 2007).

Gli approcci bottom-up si classificano in base al tipo di metodologia matematica utilizzata: di estrazione statistica o di tipo ingegneristico. In ogni caso questi modelli partono dall'osservazione di un campione reale e tramite metodi di generalizzazione stimano il comportamento dell'intero patrimonio edilizio. Il metodo statistico si basa sulle relazioni inferenziali tra i consumi, misurati tramite le bollette e gli acquisti di energia, e variabili di vario genere, quali le caratteristiche fisiche dell'immobile o le variabili socio economiche. Questo metodo, valutando intrinsecamente anche le abitudini degli utilizzatori, può stimare il fabbisogno con buona accuratezza anche con pochi dati in ingresso ma non riesce a valutare con precisione l'influenza delle nuove soluzioni tecnologiche in quanto non è basato su relazioni di tipo fisico. Il metodo ingegneristico parte dalle caratteristiche fisiche dell'edificio e, tramite relazioni analitiche, ne calcola il bilancio energetico rendendo possibile esplicitare l'influenza delle nuove tecnologie. Nel percorso di ricerca si svilupperà un modello bottom-up di estrazione ingegneristica, in quanto, pur non avendo la

precisione della stima di quello statistico, è più idoneo a simulare gli effetti delle possibili politiche di incentivazione delle tecnologie di risparmio energetico e di produzione da FER mantenendo precisi riferimenti spaziali. Lo scopo della ricerca infatti non è l'esatta determinazione del fabbisogno energetico ma la strutturazione della conoscenza utile alla decisione, ben coordinata con le complesse istanze che caratterizzano i processi decisionali in ambito urbano e territoriale. Questo approccio, per superare l'indeterminatezza dei dati iniziali, prevede la scelta di "edifici tipo", in base ad uno studio preliminare qualitativo a scala urbana del patrimonio edilizio.

4.1.3 La definizione del sistema di aiuto alla decisione

Lo strumento di aiuto alla decisone è stato formato dall'interazione del modello di rappresentazione e trasformazione dello Stato Attuale con gli attori del processo tramite metodologie adatte al loro coinvolgimento alla corretta scala (Fig. n°4.1). Lo SDSS si inserirà in un processo iterativo di formazione della conoscenza e di valutazione che parte e si conclude con l'apporto decisivo degli stakeholders.

Gli attori del processo decisionale, a seconda delle loro rispettive conoscenze e ruoli, forniranno i dati iniziali per strutturare lo Stato Attuale e conseguentemente, il modello di rappresentazione utilizzerà i dati territoriali disponibili e la conoscenza esperta per definire lo Stato attuale dei fabbisogni energetici del patrimonio edificato secondo un insieme valoriale fornito dagli stakeholders stessi. Una volta che lo Stato Attuale sarà ritenuto adeguatamente verosimile e rappresentativo della realtà, ossia sarà condiviso, gli attori del processo formuleranno le ipotesi per il miglioramento dell'efficienza energetica e l'uso delle nuove tecnologie di produzione da FER. Tali ipotesi verranno testate con i loro effetti sugli indicatori che rappresentano lo *Stato Attuale*, probabilmente in questa fase sarà necessario inserire anche nuovi indicatori o criteri di valutazione in quanto spesso le nuove tecnologie introducono nuovi aspetti nella dialettica del processo decisionale. Nel tema delle FER diventa importante il potenziale tecnico (COIANTE, 2006) della tecnologia prodotta perché ad esso sono legate le forme di incentivazione e la possibilità stessa della realizzazione, oppure possono diventare cogenti aspetti di tutela paesaggistica in quanto le nuove tecnologie introducono elementi di cambiamento negli skyline urbani e nei caratteri architettonici degli edifici. In questo caso la metodologia deve consentire una facile implementazione di tematismi di diversa estrazione capaci di misurare, o stimare, il potenziale delle nuove tecnologie o di nuovi regolamenti in termini di risparmio energetico, produzione da FER e di qualunque altro aspetto possa essere ritenuto importante in sede decisionale. Gli scenari di progetto saranno formati da una combinazione di tecnologie variabile in funzione della parte di città presa in considerazione: la dimensione spaziale dello *Stato Attuale* permette di dare valori e soglie in maniera specifica per le differenti parti mentre, il dettaglio sarà di volta in volta definito in funzione del tematismo preso in considerazione. Al fine di fornire uno strumento adatto ad interagire proficuamente con i processi di governo delle trasformazioni urbane tanto lo *Stato Attuale* quanto il potenziale delle nuove tecnologie non potranno prescindere dall'avere precisi riferimenti spaziali

grazie ai quali si potrà realizzare l'integrazione con le tematiche che classicamente si riferiscono alla pianificazione urbana. La comparazione tra gli effetti di diverse combinazioni di nuove tecnologie e misure di risparmio energetico sullo Stato Attuale contribuirà ad accrescere la conoscenza degli attori del processo decisionale e contemporaneamente permetterà di impostare una valutazione tra alternative basata su criteri condivisi e misurabili in quanto costruiti iterativamente dall'interazione di saperi diversi.

Lo strumento GIS è particolarmente adatto a questo processo sia in quanto la maggior parte dei dati territoriali ormai è disponibile in formati compatibili (MENNECKE, 1997), che perché le capacità di rappresentazione spaziale, intrinseche nello strumento, permettono semplici rappresentazioni e facilitano la comunicazione e lo scambio di conoscenza nei processi decisionali. Inoltre gli strumenti GIS sono ormai facilmente interfacciabili con il Web allargando potenzialmente la partecipazione a tutta la cittadinanza. La strutturazione di un set di indicatori e criteri condivisi per la descrizione dello Stato Attuale del sistema e delle sue possibili trasformazioni apre alla possibilità di integrare metodologie MCDA all'interno dello schema di SDSS proposto (ASCOUGH, 2002, MALCZESKI 1999). Essendo il focus di questo studio lo sviluppo di un toolbox in ambiente GIS per supportare gli stakeholders nella definizione dello Stato Attuale e degli Scenari, uno dei più interessanti e naturali sviluppi del lavoro potrebbe proprio essere il collegamento dei risultati dello Stato Attuale e degli Scenari con un toolbox dedicato alla MCDA già presente nelle principali piattaforme GIS disponibili, realizzando MCDA-SDSS completo per l'intero processo decisionale.

Un ultimo aspetto, che ci si ripropone di analizzare con più dettaglio in questo capitolo, è l'inquadramento della metodologia all'interno degli strumenti normativi per il governo delle trasformazioni urbane e, più specificatamente, per il perseguimento dell'efficienza energetica del patrimonio edilizio. Si coglierà inoltre l'occasione per discutere brevemente sui possibili attori del processo e, pur non avendo la possibilità in questo percorso di tesi di organizzare un confronto reale, si individueranno quei criteri che possono essere ritenuti in linea di massima condivisi, in quanto universalmente accettati, che verranno poi usati per la definizione dello Stato Attuale.

Schema concettuale dello SDSS : processo decisionale iterativo

Controllo dei valori condivisi con gli stakeolders

Identificazione dei valori condivisi: criteri e valori inerenti la trasformazione urbana sostenibile

conoscenza

STAKEHOLDERS

Implementazione del modello di rappresentazione con gli stakeolders

Modello di rappresentazione dello *Stato Attuale*:

Fabbisogno energetico del patrimonio edificato

Impianti tecnologici presenti

Indicatori dello *Stato Attuale*

Implementazione del modello di trasformazione con gli stakeolders

Modello di trasformazione dello *Stato Attuale:*

Potenziale della microgenerazione da FER

Potenziale di risparmio energetico per la riqualificazione del patrimonio edificato

Ipotesi progettuali

Processo di valutazione

Processo di apprendimento

NO
Torna agli step precedenti

Valutazione dell'efficacia dello scenario

SI

SDSS

Fig. n° 4.1, schema della metodologia proposta in questo studio. Lo SDSS è il cuore del processo e permette, con la sua struttura aperta ed iterativa, gli apporti degli stakeholders ai vari livelli del processo decisionale. Nel SDSS, sviluppato in ambiente GIS, è presente un modello di rappresentazione dello stato attuale e dei suoi possibili scenari di trasformazione: il mix di ipotesi progettuali di miglioramento tecnologico con la sua articolazione spaziale da origine ad uno scenario che verrà poi valutato nella sua efficacia.

4.2.1 Pianificazione energetica e Pianificazione urbanistica

Nelle attuali politiche territoriali assume un ruolo di primo piano la questione energetica: si assiste da un lato alla ricerca di soluzioni alternative per la produzione di energia da fonti rinnovabili con tecnologie ad alta efficienza e dall'altro alla formulazione di politiche volte al contenimento dei consumi. I nuovi scenari di produzione e consumo energetico sono fortemente collegati con le trasformazioni territoriali ed urbanistiche generando un nuovo fronte con il quale la pianificazione deve confrontarsi sia coi suoi strumenti settoriali che in quelli di natura territoriale.

La legislazione nazionale di settore (legge 10/1991) prevede la redazione di piani che riguardano la gestione dell'energia a livello nazionale (PEN), regionale (PER), provinciale (PEP) e Comunale (PEC) materializzandosi di fatto come parte integrante della pianificazione territoriale alle varie scale (Fig. n°4.2). Al livello comunale è prevista la redazione di Piani Energetici Comunali, per municipalità oltre i 50.000 abitanti, con particolare connotazione di operatività data proprio alla scala urbanistica del piano (GERUNDO 2009). Tale piano a livello comunale, concepito come uno strumento aggiuntivo del PRG (di cui alla legge 1150/1942), ha lo scopo di conoscere le caratteristiche quanto qualitative dei consumi e del fabbisogno interno di energia al fine di perseguire una maggiore efficienza e sostenibilità, mediante azioni di risparmio ed ottimizzazione dell'uso delle risorse con il ricorso alle fonti energetiche rinnovabili. Tale Piano da predisporre entro sei mesi dall'entrata in vigore della legge riguarda 136 Comuni del nostro Paese, con una popolazione interessata di circa 21.000.000 di abitanti, pari al 36% del totale dei cittadini italiani. Nel 2003 (ENEA, Osservatorio politiche energetico - ambientali regionali e locali), solo il 25% dei comuni interessati aveva predisposto e approvato un piano energetico interno e nel 2009, solo 16 provincie si sono dotate dello strumento pianificatorio. Al contrario la totalità delle regioni ha approvato il proprio Piano Energetico Ambientale Regionale (PEAR). Ad oggi, i comuni che hanno adempiuto alla pianificazione energetica sono in numero esiguo e lo stato dell'arte, così come l'esperienza sul campo, hanno i caratteri dinamici dei processi in itinere (R. Gerundo 2009); va tuttavia sottolineato che quasi tutte le maggiori città italiane hanno avviato la redazione del PEC e alcune importanti esperienze condotte in questi anni, hanno consentito di individuare procedure e criteri abbastanza consolidati[3] (ASDRUBALI, 2004).

[3] Si fa riferimento ad alcune guide metodologiche per la redazione dei PEC realizzate da ENEA (1997) e da CISPEL, ACEA e Ambiente Italia (1997) oppure le più recenti proposte dei Piani di Azione per l'Energia Sostenibile (Patto dei Sindaci, 2011) o del programma europeo *EASY (Energy Actions & Systems, 2009)* . Le guide, pur non avendo alcun carattere cogente, possono intendersi come "prassi consolidata" e pertanto rappresentare uno standard di riferimento nella elaborazione di un Piano Energetico Comunale (ASDRUBALI, 2004)

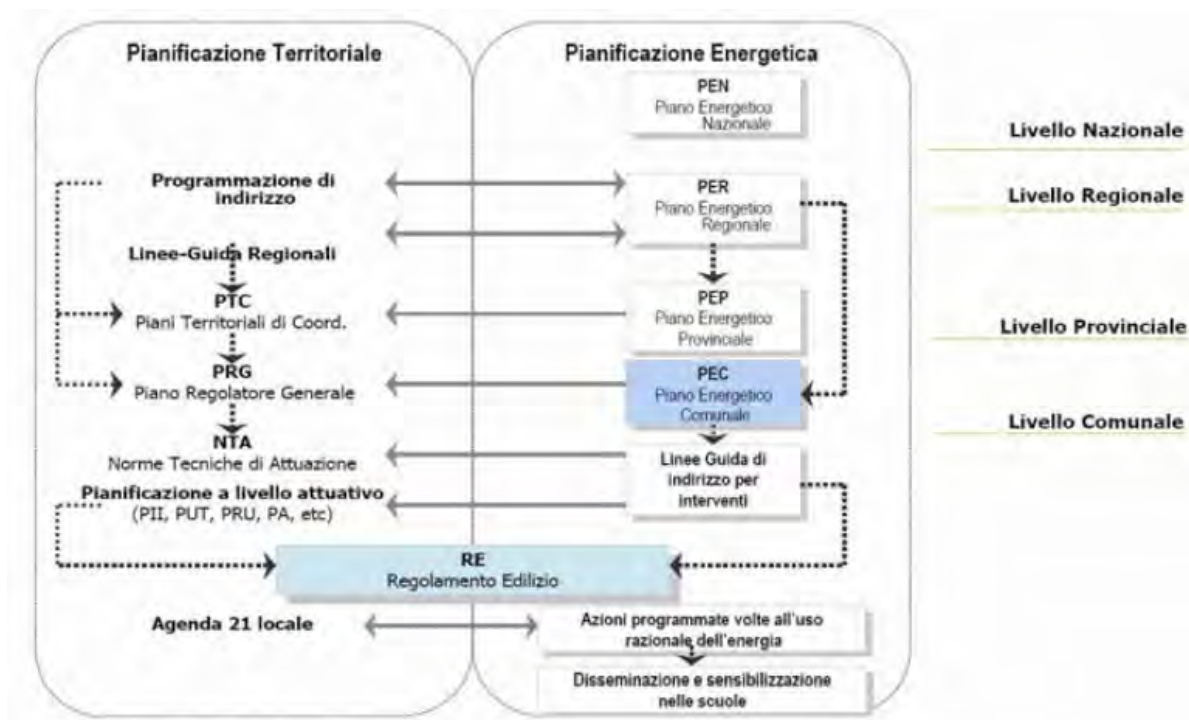



Fig. n° 4.2, Rapporto tra la pianificazione energetica e quella territoriale (GERUNDO, 2009)

4.2.2 I contenuti dei Piani Energetici Comunali (PEC)

Riportando a sommi capi quanto specificato dalle suddette guide, Il *Piano Energetico Comunale* (PEC) o, nella accezione più usata attualmente per sottolineare la rinnovata valenza ambientale dello strumento, il *Piano Energetico Ambientale Comunale* (PEAC) si struttura in una parte di analisi ed in una parte propositiva, relazionandosi con gli strumenti di pianificazione energetica sovra ordinati, regionale e provinciale, sia per quanto riguarda le linee guida programmatiche, che per la stretta interrelazione con i piani di settore come, ad esempio, i piani dei trasporti e dei rifiuti (GERUNDO 2009, ASDRUBALI, 2003).

Perciò un PEAC sarà costituito da una prima parte di analisi, molto corposa, dove si cercherà sia di esplicitare la struttura ed i processi caratteristici del sistema energetico-ambientale-territoriale (per vettori, per settori, per usi finali, per aree territoriali, …) che di prevedere possibili scenari futuri su cui progettare gli interventi.

La seconda parte, più propositiva del piano, sviluppa misure concrete attivabili nei diversi settori di intervento per definire un Piano d’Azione.

In linea generale gli obiettivi di un PEAC possono essere così riassunti (ENEA, ACEA/CISPEL 1997):

• razionalizzazione dei consumi;

• diversificazione delle fonti tradizionali e sostituzione delle fonti convenzionali con fonti rinnovabili;

• utilizzazione di disponibilità energetiche locali, di servizi energetici locali, di tecnologie energetiche prodotte localmente, di competenze energetiche locali;

• limitazione di infrastrutture energetiche, inquinamento ambientale, usi energetici non compatibili con la politica di gestione del territorio;

• sostegno alla creazione di servizi energetici locali, di nuova occupazione o conversione di occupazione preesistente, alle politiche energetiche regionali, nazionali e comunitarie, ad altra pianificazione comunale, alla domanda di altri servizi collegati agli usi energetici.

A questi obiettivi spesso, in un'ottica di integrazione con i vari strumenti di gestione del territorio in chiave sostenibile, si aggiungono obiettivi di natura più tipicamente ambientale ma relazionati con lo sviluppo delle fonti rinnovabili o il risparmio energetico quali: il contenimento del consumo del suolo, per limitare la domanda di trasporto; il mantenimento della permeabilità dei suoli e della copertura vegetazione, per limitare il fenomeno dell'isola del calore, la tutela dei paesaggi e dei beni culturali, per dare una regolamentazione alla realizzazione degli impianti di produzione da FER.

L'attività di analisi consiste nella definizione di un Bilancio Energetico Comunale (BEC) che rappresenta un quadro di sintesi del sistema energetico riferito ad un determinato periodo di tempo (uno o due anni) dal quale è possibile dedurre la quantità e la tipologia di energia prodotta, reperita, trasformata e consumata nel territorio comunale (ASDRUBALI, 2003). Esso definirà in maniera processuale lo stato del sistema energetico (consumi, risorse, flussi, rischi) fornendo indicazioni sulla sua evoluzione storica il suo stato attuale e i sui possibili sviluppi futuri a breve e medio termine. Sulla base di ciò si potranno individuare i settori strategici definendone le tendenze e le relative priorità di intervento con particolare riferimento alle energie rinnovabili per le quali dovrà esserne analizzato il *potenziale tecnico* (COIANTE, 2006).

Le varie metodologie sviluppate da ENEA , ACEA/CISPEL ed altri Istituti di ricerca nazionali propongono alcuni indicatori per la quantificazione dei flussi che possono essere raggruppati in grandi categorie:

- *indicatori di consumo/domanda finale di energia*, es. consumi pro-capite, totali e per fonte;
- *indicatori di carattere settoriale*, consumi totali e per fonte, in un determinato settore, divisi per il numero di addetti, il valore aggiunto, le superfici impegnate;
- *indicatori di prestazione delle tecnologie energetiche*: esprimono l'efficienza delle tecnologie di trasformazione impiegate: rendimenti termodinamici delle tecnologie di trasformazione;
- *indicatori di efficienza del sistema energetico*: esprimono il livello complessivo di efficienza energetica del sistema urbano articolato nei suoi settori: energia consumata per il trasporto: per passeggero, per km, ecc.;
- *indicatori di prestazione economico–finanziaria*: vengono impiegati nella valutazione economica e finanziaria degli interventi ipotizzati.

Il cuore del BEC consiste nello studio della domanda energetica per vettore e per settore e nell'analisi della produzione energetica locale, ovvero dell'offerta, in base ai quali successivamente si potranno quantificare

gli impatti sul clima attraverso la definizione del bilancio complessivo delle emissioni di CO_2. La definizione di tali bilanci in realtà consisterà principalmente nell'impostare correttamente le attività per l'acquisizione dei dati secondo precise fasi (CARDINALETTI , 2009): mappatura dei dati necessari in funzione dei settori strategici individuati; individuazione dei depositari dei dati nel panorama particolarmente frammentato dei piccoli sistemi informativi delle agenzie di servizi comunali o dei grandi data base nazionali; messa a punto di questionari, o altri sistemi di raccolta dei dati, a completamento o sostituzione di quanto già disponibile a livello territoriale; elaborazione ed analisi dei dati raccolti al fine di evidenziare i punti di forza di debolezza e le potenziali risorse e minacce dei vari settori. In caso però alcuni dati non siano disponibili direttamente, in quanto non conservati in nessun data base e non conoscibili facilmente dalla cittadinanza, come per esempio i fabbisogni netti degli edifici, si potranno utilizzare metodi per acquisire dati indiretti, dove il dato di interesse è in realtà derivato dagli altri disponibili (fig. n°4.3). Integrando le due metodologie di acquisizione dei dati (fig. n°3) si potrà strutturare conveniente il BEC al fine costruire la conoscenza necessaria alla definizione delle proposte del piano, ossia del Piano d'Azione.

Procedura diretta: **acquisizione dei dati direttamente dalla fonte**	**Procedura indiretta:** **dati ricavati dalla manipolazione di altri disponibili**
Acquisizione flusso dei consumi attraverso compagnie che forniscono i servizi energetici ed idrici. Acquisizione dati sui consumi energetici direttamente delle bollette delle utenze. Sopralluoghi e ispezioni visive per acquisire dati relativi agli edifici e agli impianti. Somministrazione di questionari mirati agli utenti per raccogliere informazioni sui dati termici ed elettrici delle utenze, sul periodo di funzionamento degli impianti e sull'epoca di costruzione dei vari edifici e/o impianti. Metodi innovativi per l'acquisizione dei dati: city sensing, LIDAR, ..	Utilizzo del GIS (*Geographical Information System*) per ottenere informazioni sulle caratteristiche spaziali del territorio e sulle caratteristiche geometriche degli edifici, sulla loro ubicazione nel territorio e sulla loro destinazione d'uso. Utilizzo di dati catastali, da cui si può ricavare sia la destinazione d'uso dell'area e/o altre informazioni importanti relative all'edificato. Utilizzo software di simulazione e modelli matematici per sopperire alla mancanza dei dati di consumo. ....

Fig. n° 4.3, alcuni metodi di acquisizione diretta ed indiretta dei dati (adattato da Manuale EASY, 2009)

Il Processo di raccolta dei dati energetici

Dati disponibili → Dati energia rilevanti / ~~Dati energia irrilevanti~~ → mappatura gestori dati energetici → acquisiti direttamente / acquisiti indirettamente → Dati trattati (metadata)

Fig. n°4.4, Processo di raccolta dei dati energetici (Manuale EASY, 2009)

In generale, l'analisi di un BEC si basa sull'acquisizione di dati e informazioni relativi ai consumi di energia fornita all'utenza da reti urbane (energia elettrica, teleriscaldamento e gas) e ai consumi di fonti non da rete (prodotti petroliferi e combustibili solidi). I primi sono normalmente ottenibili dai tabulati delle concessionarie del pubblico servizio o delle aziende municipalizzate o speciali che forniscono il servizio; i

secondi dall'Ufficio Tecnico di Finanza dipendente dal Ministero delle Finanze, dai distributori di carburante, dai depositi urbani e provinciali delle società petrolifere e dai grossisti.

Queste informazioni di solito sono ripartite con il seguente criterio:

per vettori: energia elettrica; combustibili per autotrazione; gas naturale; gasolio; GPL e olio combustibile;

per settori: civile (terziario, domestico, Pubblica Amministrazione); trasporti; industria e agricoltura.

In generale, quindi, le informazione relative ai consumi del patrimonio edificato sono prive di riferimento spaziale e a volte sono disponibili solo per gli edifici e le utenze di competenza comunale (scuole, uffici, illuminazione, rifiuti). Tra i PEC analizzati per questo studio solo quello di Modena riesce a dare una specificazione spaziale ai consumi rilevati nel territorio comunale impostando uno strumento GIS che utilizza il numero civico come riferimento (fig. n°4.5).

Comune	**data piano**	**metodologia per la determinazione del fabbisogno energetico degli edifici**	**Dimensione spaziale**
Melegnano*	2004	dati relativi solo agli edifici ed alle utenze comunali	
Monza Massa Forlì Brescia Collesalvetti Massa Piacenza Salerno	2006 2008 2006 2002 2004 2008 2008 2009	dati disaggregati per tipo di vettore energetico e settore, ricavati dalle vendite di metano, gas, elettricità e dai sistemi a gestione comunale come il teleriscaldamento o le reti del GAS di città	dati aggregati a livello comunale
Modena	2007	dati disaggregati per tipo di vettore energetico per settore, ricavati dalle vendite di metano, gas, elettricità e dai sistemi a gestione comunale come il teleriscaldamento o le reti del GAS di città	dati georeferenziati con il numero civico rappresentazione per lotto urbanistico
*	Melegnano è un piccolo comune al di sotto di 50.000 abitanti		

Fig. n°4.5, la dimensione spaziale nelle metodologie per la determinazione del fabbisogno energetico degli edifici in alcuni PEAC

Dopo aver definito sia lo Stato Attuale che i possibili scenari futuri senza interventi, si formulerà il Piano d'Azione che conterrà una combinazione di misure in grado di perseguire gli obiettivi del piano, dovrà integrarsi con le altre strategie di sviluppo e pianificazione urbana e di settore e, quando possibile, dovrà trovare attuazione anche attraverso strumenti di cui l'Amministrazione Comunale già dispone(ASDRUBALI 2004)[4]. *Tuttavia ad oggi il sistema della pianificazione è del tutto privo di strumenti di recepimento di*

[4] Per esempio la Normativa Urbanistica (Norme Tecniche di Attuazione del PRG, Regolamento Edilizio, Piani di Riqualificazione Urbana..) ed altri atti amministrativi di programmazione delle opere pubbliche o di fornitura dei servizi, (Capitolati Speciali di Oneri per le gare di appalto pubbliche per ristrutturazioni edilizie e servizi energetici, Convenzioni o Contratti di Servizio).

obiettivi di trasformazione insediativa con finalità di miglioramento energetico – ambientale (OMBUEN 2008).

Perciò il Piano d'Azione dovrà indicare le modalità di gestione della fase attuativa individuando con precisione tutti gli operatori coinvolti con le relative competenze, gli strumenti normativi, tecnici e finanziari necessari e i metodi per la valutazione ed il monitoraggio degli effetti del piano.

L'attuazione del PEAC si configura quindi come un processo particolarmente complesso per l'integrazione tra i vari strumenti di governo del territorio riferiti alla pluralità di settori strategici coinvolti, dove il contributo degli attori forti locali e della cittadinanza giocano un ruolo fondamentale. Questi infatti sono chiamati a partecipare al processo di formazione del piano fin dalle sue prime fasi, per fornire la conoscenza necessaria alla definizione del BEC. Le azioni stesse del piano non possono prescindere da una accurata mappatura degli stakeholder in quanto questi ne costituiscono i principali attuatori e destinatari. Perciò i contributi più recenti danno un forte spazio alla definizione di metodi e strategie per favorire il processo partecipativo che accompagna la redazione del piano e per individuare con precisione gli interessi e il grado di coinvolgimento degli stakeholder.

La guida del progetto EASY (2009) propone una mappatura degli stakeholder[5] secondo alcune macro categorie (tab. n°3) per le quali sarà necessario identificare delle azioni specifiche di coinvolgimento in base al grado di influenza nella decisione e grado di interesse.

Macro categorie esemplificative
a. **gli enti locali territoriali** (Regioni, Province, Comuni, Comunità Montane, etc.)
b. **le agenzie funzionali** (Consorzi, Camere di commercio, Agenzie per il risparmio energetico, Centri di ricerca, etc.)
c. **le organizzazioni private** (imprese, fornitori di servizi energetici,etc.)
d. **le istituzioni formative** (scuole, università, etc.)
e. **i gruppi organizzati** (associazioni di categoria, associazioni ambientali, consumatori, etc.)
f. **la comunità locale** (organizzazioni di cittadini e singoli cittadini).

Fig. n°4.6. esempio di stakeholder (Manuale EASY, 2009)

[5] l'insieme dei soggetti interessati all'attivita di un ente, di un'organizzazione, di un territorio e in grado, direttamente o indirettamente, di influenzarne gli esiti e i risultati.

4.3 Definizione dell'oggetto della ricerca

Tenendo conto di quanto appena esposto possiamo inquadrare con più precisione lo scopo di questo studio all'interno della pratica di piano come la proposta di una metodologia GIS per l'acquisizione indiretta di dati utili alla definizione del BEC. Naturalmente l'utilizzo della metodologia può essere anche slegata dalla redazione di un vero e proprio PEAC. Alcuni comuni, magari di dimensioni minori, propongono allo stesso fine allegati al Regolamento Edilizio per indicare soluzioni tecniche più sostenibili o semplici implementazioni delle Norme di Attuazione per cercare di perseguire il risparmio energetico nelle opere di manutenzione straordinaria e nelle nuove costruzioni. La metodologia potrà essere utile alle amministrazioni comunali per compiere gli studi preliminari e le valutazioni necessarie a promuovere la progettualità locale con azioni specifiche (bandi per la manutenzione degli involucri o per la realizzazione di impianti da FER); potrà essere utile nella progettazione di tecnologie a scala di quartiere (teleriscaldamento, piccole centrali a biomassa, …) oppure, in maniera più semplice, potrà facilitare la comunicazione di argomenti tecnici in un programma di sensibilizzazione della popolazione ai temi del risparmio energetico degli edifici.

In questa sede non si proporrà una completa mappatura degli stakeholders e dei loro interessi, in quanto ciò richiederebbe confronti con le parti ed attività che allontanerebbero dallo scopo della studio, ma ci si limiterà a considerare che, partendo dai macrogruppi visti precedentemente, si possono facilmente individuare alcuni interessi e valori in qualche modo trasversali e comuni.

Limitandosi al campo del miglioramento dell'efficienza degli edifici esistenti si possono individuare, in prima analisi, gli stakehoders in funzione del loro grado di interesse nelle decisioni (fig. n°4.6). Al primo posto i decisori politici e delle amministrazioni pubbliche, generalmente interessati agli aspetti di sviluppo sostenibile del territorio declinabili nella protezione del paesaggio e dell'ambiente, nel miglioramento della qualità della vita urbana e nello sviluppo economico e sociale.

Segue il mondo dell'imprenditorialità locale con la sua capacità di produrre investimenti e generare sviluppo economico, con interesse principalmente rivolto alle opportunità economiche fornite dai gradi programmi di riqualificazione urbana e dalle politiche di incentivazione delle FER.

Probabilmente su in livello inferiore di interesse si possono porre i privati cittadini proprietari di immobili che vedono nelle possibili politiche di incentivazione l'opportunità per piccoli investimenti o per migliorare le caratteristiche dei propri immobili.

Si possono poi inquadrare tutti quegli attori, come le associazioni ambientaliste o di promozione culturale che pur non essendo direttamente interessati da un'eventuale programma urbano per il miglioramento dell'efficienza energetica parteciperanno al processo per motivi ideali. Mentre all'ultimo livello possiamo mettere l'osservazione casuale, ossia nel nostro caso tutta la cittadinanza.

Trasferendo gli intessi degli attori del processo nel campo delle trasformazioni, in chiave sostenibile del patrimonio edilizio urbano, nascono le domande valutative alle quali la metodologia, nel suo complesso,

dovrà contribuire a dare risposta (fig. n°4.7); in particolare in questo studio ci si focalizzerà soprattutto sulle prime due per le quali l'implementazione dello strumento GIS sembra essere più adeguato.

The context of the urban policies

STAKEOLDERS

Decision Makers (public administrators)

Building sector companies

Private owners

Interested observers

Random observers

Main consensus issues

Policies to support RES and energy savings

Environmental protection

Building renovation and urban quality

Landscape protection

Economic and social development

Questions

What are the characteristics of the energy consumption for heating, cooling, DHW in our building stocks?

What kind of energy savings and RES production technologies are available?:
Technical feasibility
Normative feasibility
Economic feasibility.

What national incentive policies are allow to use?

What law tool are available?

What is the efficiency of new technologies on environment protection

What is the impact of new technologies on city landscape

Fig. n°4.7, definizione delle domande valutative in funzione dei principali valori condivisi dagli attori del processo decisionale.

Quali sono le caratteristiche del patrimonio edificato?

Questa è la prima, e più importante, domanda con la quale la metodologia si confronterà: dovrà costruire una rappresentazione della realtà che possa comunicare efficacemente, anche ad un pubblico non tecnico, le caratteristiche quanto – qualitative, i fabbisogni ed i consumi del patrimonio edificato. La diffusione sempre più capillare dello strumento della Certificazione Energetica (CE) sta rendendo familiare ai decisori non tecnici ed ai privati cittadini le tematiche dell'efficienza energetica nella forma semplificata delle classi di efficienza energetica. Contemporaneamente le opportunità di investimento generate dalle tecnologie per le FER hanno creato un nuovo tipo di imprenditorialità specializzata fortemente interessata alla tematica. Si dovrà perciò trovare un linguaggio comune che possa favorire il dialogo tra sapere tecnico e non, senza perdere la ricchezza di informazione alla quale ormai anche il semplice cittadino vuole poter accedere se interessato.

A tale scopo sembrano essere particolarmente adatte le semplificazioni introdotte nella pratica della Certificazione Energetica[8]: la CE è rivolta ad un pubblico prettamente non tecnico ma comunica con precisione aspetti piuttosto specialistici riguardo le prestazioni energetiche dell'edificio. Inoltre la CE è spesso l'unico modo che le amministrazioni hanno per ottenere informazioni dettagliate circa le caratteristiche dei consumi e dei fabbisogni del patrimonio edificato difficilmente conoscibili[6] altrimenti.

In particolare la CE riporta i fabbisogni di Energia Primaria (EP) per la climatizzazione invernale e per l'ACS dell'edificio e li confronta con limiti definiti in base alla legge[7] in funzione delle caratteristiche dell'edificio stesso fornendone un giudizio qualitativo, ossia l'etichetta della CE. Inoltre il documento della CE, unitamente alle indicazioni sui possibili interventi di riqualificazione energetica con una valutazione preliminare degli investimenti e dei tempi di ritorno, deve contenere la stima dei costi annui per il riscaldamento, basata sulla quantità di energia che è necessario fornire all'impianto per mantenere il comfort interno, ripartita nei vari vettori (GAS, GPL, elettricità, gasolio, …) e la stima delle emissioni di CO_2 ad esso correlate. Allo stato attuale della normativa, la CE si riferisce solo alla climatizzazione invernale ed alla produzione di ACS, ma sono in via di definizione le normative tecniche per l'inserimento anche della climatizzazione estiva e dei consumi per illuminazione.

La metodologia semplificata di calcolo che guida la redazione della CE è specificata dalla legge in base alle recenti norme UNI 11300 TS[8] parte 1-2; tale definizione piuttosto standardizzata della metodologia di calcolo garantisce da una parte la confrontabilità dei risultati anche su diversi edifici e contesti e dall'altra un livello minimo di accuratezza dei risultati.

La metodologia di calcolo della UNI è divisa in due parti consequenziali ma abbastanza indipendenti nelle metodologie: il calcolo del *Fabbisogno netto* e il calcolo del *fabbisogno di Energia Primaria*.

---

[6] Alcune Regioni italiane, in accordo con quanto previsto dalla direttiva comunitaria stanno raccogliendo in dadi delle CE in *Catasti Energetici degli edifici* (es: SACE Regione Emilia Romagna, CEC Comune di Torino)

[7] Si tratta del Dlgs n°192 del 2005 legge di recepimento della direttiva comunitaria sull'efficienza energetica degli edifici n°91/2002 CE e del Dlgs n°311 del 2006, poi seguiti da una serie di decreti attuativi tra i quali il recente Decreto Ministeriale 26/6/2009 "Linee guida per la Certificazione energetica".

[8] La Norma UNI TS 11300 è nata con l'obiettivo di definire una metodologia di calcolo univoca per la determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici ed è coerente con le norme elaborate dal CEN nell'ambito del Mandato M/343 a supporto della Direttiva Europea 2002/91/CE sulle prestazioni energetiche degli edifici.
Essa è suddivisa in quattro parti, che riuniscono in modo organico i contenuti di una vasta gamma di pubblicazioni UNI:
UNI TS 11300-Parte 1 (pubblicata a maggio 2008 e attualmente in revisione)
Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.
UNI TS 11300-Parte 2 (pubblicata a maggio 2008 e attualmente in revisione)
Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.
UNI TS 11300-Parte 3 (pubblicata a marzo 2010 e attualmente in revisione)
Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.
UNI TS 11300-Parte 4 (in fase di inchiesta pubblica UNI)
Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per il riscaldamento di ambienti e la preparazione di acqua calda sanitaria (in fase di elaborazione).

Il calcolo dei *Fabbisogni netti per climatizzazione invernale ed estiva*[9] determina la quantità di energia termica da fornire all'involucro affinché esso possa mantenere le condizioni di benessere termico al variare delle condizioni esterne. In questo calcolo non entrano in gioco parametri relativi agli impianti ma solo le caratteristiche fisiche e geometriche dell'involucro. Conoscere i fattori che influenzano questo fabbisogno (fig. n°4.8) è l'informazione fondamentale per poter agire sull'involucro edilizio in chiave di risparmio energetico (diminuzione della trasmittanza delle chiusure opache, sostituzione delle finestre, schermature solari).

Il calcolo del *Fabbisogno di EP,* partendo dal fabbisogno netto e dalle caratteristiche degli impianti per il riscaldamento e per la produzione di ACS, ottiene i rendimenti medi stagionali. In pratica al variare dell'impianto lo stesso edifico avrà un fabbisogno di EP differente dal quale discenderanno i consumi energetici nei vari vettori, i costi annui e le emissioni di gas serra. Conoscere i rendimenti delle varie tipologie di impianto permette di prevederne l'effetto al fine di trovare la soluzione più efficiente in termini economici ed ambientali.

Questi parametri, confrontabili in quanto standardizzati su unità spaziali e temporali comuni, definiscono con precisione e semplicità le caratteristiche del bilancio energetico dell'edificio (fig. n°4.8). Naturalmente i calcoli sono normalmente svolti col dettaglio della singola unità abitativa; la loro trasposizione a livello urbano dovrà necessariamente effettuare semplificazioni sia per la carenza di dati disponibili che funzionali alla comprensione stessa dei fenomeni. Si dovrà perciò ragionare necessariamente per tipi e tendenze mediate in quanto per esplicitare le caratteristiche ed i processi alla scala urbana il dettaglio del singolo progetto di riqualificazione energetica per ogni edificio ed unità immobiliare creerebbe solo confusione informativa.

	Valori che definiscono le prestazioni dell'edificio	**Unità di misura**
Parametri di interesse del calcolo della UNI 11300	Fabbisogno netto per la climatizzazione	kWh/mq annuo
	Dispersione termica attraverso l'involucro	kWh/mq annuo
	Dispersione termica per la ventilazione	kWh/mq annuo
	Guadagno termico per gli apporti solari	kWh/mq annuo
	Guadagno termico per il contributo delle attività interne	kWh/mq annuo
Informazioni contenute nella CE	Rendimento medio stagionale dell'impianto	kWh/mq annuo
	Fabbisogno di energia Primaria per climatizzazione invernale (EPi)	kWh/mq annuo
	Fabbisogno di Energia Primaria per ACS (EPacs)	kWh/mq annuo
	Consumi annui per vettore energetico	kWh annuo
	Costo operativo annuo	Euro/mq annuo
	Emissioni di CO2 annue	KgCO2/mq annuo
	Classificazione di efficienza energetica	
	Consigli per la riqualificazione energetica	

fig. n° 4.8 dati di interesse per la definizione delle prestazioni energetiche di un edificio

Prendendo in prestito il linguaggio e le definizioni della CE, ormai diffusa e consolidata tra tecnici e non, si propone la definizione dello Stato Attuale secondo la metodologia di calcolo proposta dalle parti 1 e 2 della

[9] Solo il calcolo del *fabbisogno netto per la climatizzazione invernale,* effettuato secondo la UNI 11300 TS parte 1, prende parte alla CE

UNI 11300, adattandola ai dati disponibili a livello urbano. Quindi la definizione dello stato attuale si svolgerà in due momenti funzionali non solo alle fasi del calcolo ma fortemente legati alla disponibilità dei dati: la determinazione dei *fabbisogni netti,* ossia del fabbisogno proprio del patrimonio edificato dipendente dalle sue caratteristiche fisiche e la determinazione del *fabbisogno di EP*, ossia il consumo di energia necessario agli impianti di per soddisfare il fabbisogno netto.

Si vedrà poi come la metodologia di calcolo Standard della UNI 11300 si adatti particolarmente bene ad un approccio tipologico per la determinazione dei dati di input del il calcolo del fabbisogno netto e di EP. In particolare per gli edifici esistenti, dove spesso non è possibile conoscere con precisione la composizione delle strutture edilizie e lo stato degli impianti, la norma propone l'uso di una serie di abachi e prospetti volti a determinare i parametri di calcolo in base alla tipologia edilizia all'anno di costruzione, oppure permette di attingere all'eventuale conoscenza di chi redige la certificazione (Standard). La valutazione detta di Progetto utilizza metodologie di calcolo molto simili a quelle Standard, ma prevede l'uso dei dati dettagliati riguardanti le strutture di nuova costruzione; mentre la valutazione adattata all'utenza prevede dati e metodologie di calcolo più complesse basate generalmente su indagini strumentali riguardo le strutture e sulle abitudini degli abitanti (fig. n°4.9).

Tipo di valutazione	Dati di ingresso			Scopo della valutazione
	Uso	Clima	Edificio	
di Progetto (*Design rating*)	Standard	Standard	Progetto	Permesso di costruire Certificazione o Qualificazione energetica del progetto
Standard (*Asset rating*)	Standard	Standard	Reale	Certificazione o Qualificazione energetica
Adattata all'utenza (*Tailored rating*)	In funzione dello scopo		Reale	Ottimizzazione, Validazione, Diagnosi e programmazione di interventi di riqualificazione

Fig. n°4.9, fig. tipologie di calcolo proposte dalla UNI 11300

Per la certificazione energetica degli edifici esistenti è sempre possibile adottare la procedura di calcolo detta Standard oppure la metodologia DOCET proposta da CNR-ENEA per il calcolo semplificato della Certificazione Energetica[10]. Tale software, con lo scopo di favorire la diffusione della CE, propone un approccio ancora più semplificato che fa largo uso della "analogia costruttiva" per definire i dati input della CE. La metodologia sviluppata in questo lavoro verrà confrontata, nei dati di input e nei risultati, con la

[10] Le Linee Guida nazionali (DM 26 giugno 2009) consentono esplicitamente l'uso del software DOCET per la certificazione energetica di edifici residenziali esistenti con superficie utile massima pari a 3000 m^2.
DOCET viene classificato secondo la dicitura riportata di seguito (Allegato A, paragrafo 4 al punto 2): "*[…]* "*Metodo di calcolo da rilievo sull'edificio o standard", che prevede la valutazione della prestazione energetica a partire dai dati di ingresso ricavati da indagini svolte direttamente sull'edificio esistente […] o per analogia costruttiva con altri edifici e sistemi impiantistici coevi, integrata da banche dati o abachi nazionali, regionali o locali […]*

modalità di "*certificazione energetica per edificio*" presente nel software DOCET[11] al fine di valutare il grado di rispondenza del toolbox GIS, sviluppato per la scala urbana, con uno strumento semplificato destinato al singolo edificio. I risultati dello studio mostreranno che a parità di dati di input lo strumento sviluppato in questo lavoro potrà fornire, salvo alcune necessarie implementazioni, risultati comparabili con il software ufficiale DOCET. Si è ottenuto così uno Stato Attuale a scala urbana, con un dettaglio massimo prossimo a quello del singolo edificio, sul quale valutare gli effetti dei possibili interventi di miglioramento tecnologico. Per i tempi limitati di questo studio si valuteranno solo due ipotesi progettuali esemplificative per il tipo di approccio alla modellazione in ambiente GIS.

[11] DOCET utilizza una procedura semplificata rispetto a quella del calcolo Standard della UNI 11300 parti 1-2 che può essere eseguita in modalità *Certificazione Energetica di un singolo appartamento* o *Certificazione Energetica per edifico* dove la zona termica è impostata coincidente con le chiusure esterne del volume e può comprendere più unità immobiliari per i quali molte caratteristiche sono definite come comuni.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ACEA, CISPEL, (1997) "Il Piano Energetico Ambientale Comunale. Linee metodologiche in applicazione della legge 10/91 art. 5 comma 5", a cura dell'istituto di Ricerche Ambiente Italia.Edizioni Ambiente srl; Milano.

Brian E. Mennecke (1997); *Understanding the Role of Geographic Information Technologies in Business: Applications and Research Directions*; Journal of Geographic Information and Decision Analysis, no.9 (4), 2010 pp 9-13

Carl Steinitz (2009) ed altri; Alternative Futures fon the Metropolitan Area of Cagliari; Gangemi Editore Roma 2009

Claudio Bezzi (2003), *Disegno della Ricerca Valutativa*, 2003 Franco Angeli, Milano

Densham, P. J. (1991) *Spatial Decision Support Systems*; *Geographical Information Systems: principles and applications*. Ed. David J. Maguire, Michael F. Goodchild and David W. Rhind. Essex: Longman Scientific & Technical, 1991. 1: 403-4l2

Domenico Coiante (2006), *Le nuove fonti di energia rinnovabile*, Franco Angeli, Milano 2006

ENEA, Dipartimento Energia, Unità Piani Energetici Territoriali; (1997) "Guida per la pianificazione energetica comunale". http://www.enea.it/it

Francesco Asdrubali, Giorgio Baldinelli (2003), *Procedure e metodologie per la redazione di piani energetici e ambientali comunali,* Atti della Giornata di Studio "Lorenzo Agnoletto", Associazione Termotecnica Italiana, Sezione Friuli Venezia Giulia, Udine, 26 giugno 2003.

Haas R, Schipper L. *Residential energy demand in OECD-countries and the role of irreversible efficiency improvements*. Energy Economics 1998;20(4):421–42

James C. Ascough II, Harriet D. Rector , Dana L. Hoag, Gregory S. McMaster, Bruce C. Vandenberg, Marvin J. Shaffer, Mark A. Weltz, and Lajpat R. Ahjua (2002); *Multicriteria Spatial Decision Support Systems: Overview, Applications, and Future Research Directions*; International Environmental Modelling and Software Society (IEMSS) volume tre, 2002

Lukas G. Swan, V.Ismet Urgursal (2009), *Modeling of end use Energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques*, Renewable & Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 1819-1835

Malczewski, J., GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley and Sons, 392 pp., New York, NY, 1999

Marco Cardinaletti (2009) Il Modello *EASY:* linee guida per lo sviluppo di Sistemi e Comunità Energeticamente Sostenibili nelle Città del Mediterraneo; convegno LA PIANIFICAZIONE ENERGETICA LOCALE *STRUMENTI, MODELLI e PROSPETTIVE* Ancona 30 Novembre 2009

Progetto EASY – Energy Actions & Systems; Manuale EASY (2009); http://it.easyaction.eu/doc

Paolo de Pascali (2008), Città ed Energia: La valenza energetica dell'insediamento; Franco Angeli, Milano

Patto dei Sindaci, Guida pratica alla stesura del Piano di Azione per l'Energia Sostenibile (PAES) indicazioni operative per la pianificazione energetica per le realtà comunali; http://www.pattodeisindaci.eu/Biblioteca,278.html

Roberto Gerundo, Alessandro Siniscalco (2009); *Multidisciplinarietà al servizio della politica. L'esperienza degli urbanisti nella redazione del Pec di Salerno*; Istituto Nazionale di Urbanistica URBANISTICA E POLITICA V Giornata di Studi INU 2009 Napoli, 23 ottobre 2009

Simon H.A. (1960), *The New Science of Management Decision*; Harper and row, 273 pp, New York

Simone Ombuen (2008), *Urbanistica e sviluppo sostenibile delle città: L'integrazione delle politiche energetiche e di adattamento climatico nel governo del territorio*; Conferenza Europea CECODHAS Energia sostenibile e alloggio sociale Ancona 21-22 aprile 2008

Turban et altr; , Decision Support Systems and Intelligent Systems, 7th Edition; Prentice Hall (2005)

LEGISLAZIONE EUROPEA

DIRETTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (rifusione)

DIRETTIVA 2009/28/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE

DIRETTIVA 2006/32/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 5 aprile 2006 concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e recante abrogazione della direttiva 93/76/CEE del Consiglio

DIRETTIVA 2002/91/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia

LEGISLAZIONE NAZIONALE

Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28 "Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE"

Disposizioni per l'adempimento di obblighi derivanti dall'appartenenza dell'Italia alle Comunità europee – Legge comunitaria 2009. Testo approvato dal Senato il 12 maggio 2010.

Decreto Ministeriale 26 giugno 2009 "Linee Guida Nazionali per la Certificazione Energetica"

Decreto Del Presidente Della Repubblica 2 aprile 2009 , n. 59 "Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia.

Decreto Legislativo 30 maggio 2008, n. 115 ""Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE".

D.Lgs 311 del 29/12/2006 "Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia"

Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192 "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia"

Piano di azione nazionale per le energie rinnovabili (direttiva 2009/28/CE)

Legge 09/01/1991, n.10 "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia"

Capitolo 5

Stato dell'arte: Il fabbisogno energetico del patrimonio edificato

La creazione del modello di rappresentazione dello stato di fatto è il punto fondamentale della metodologia: il modello dovrà simulare il bilancio energetico a scala urbana, esplicitando i fattori che influiscono sul fabbisogno energetico ed i sistemi tecnologici utilizzati per soddisfarlo, senza perdere i necessari riferimenti alle caratteristiche tipologiche e spaziali dell'insediamento che sono alla base delle politiche di valorizzazione e riqualificazione del patrimonio edificato.

Nella definizione dello strumento di simulazione sono di primaria importanza gli aspetti relativi alle grandezze fisiche in gioco, la quantità e la qualità dei dati da trattare, la precisione delle previsioni del modello, la flessibilità e la semplicità d'uso della metodologia.

5.1 I modelli di previsione del fabbisogno energetico

Il tema della definizione della domanda energetica del patrimonio edilizio alla scala urbana o del singolo edificio è stato studiato e documentato in varie esperienze che presentano svariati approcci e tipologie di modelli.

Esistono però alcuni aspetti comuni ai modelli di *Energy planning* che, secondo una nutrita recensione delle principali esperienze internazionali, si possono riassumere nei seguenti aspetti (HIREMATH 2005)

- *scopi generali e specifici del modello*
- *la struttura del modello: ipotesi interne e ipotesi esterne*
- *l'approccio analitico: top-down oppure bottom-up*
- *la metodologia di base*
- *l'approccio matematico*
- *l'estensione geografica: globale,nazionale, regionale, locale o di progetto*
- *copertura settoriale*
- *l'orizzonte temporale: corto, medio o a lungo termine*
- *I dati necessari*

L'aspetto che più caratterizza le prestazioni richieste al modello è "lo scopo"; i modelli di aiuto alla decisione (DSS) riferibili alla industria della produzione e distribuzione di energia trovano un forte interesse alla previsione dei carichi orari sulla rete per l'ottimizzazione tra le diverse fonti energetiche (SHEM 2008), mentre modelli di stampo più valutativo pongono l'accento su aspetti di natura ambientale o economici per i quali non è tanto di interesse la previsione oraria dei consumi, quanto l'esplicitazione delle relazioni che li legano alle condizioni del sistema come, quelle politiche ed economiche.

L'estensione geografica del modello è fortemente legata allo scopo che esso si prefigge: questa può abbracciare un territorio molto ampio (regionale nazionale ed internazionale), perché la fornitura locale di energia dipende da una rete di natura trans-nazionale di distribuzione, produzione e vendita; oppure scendere al livello più locale (regionale, provinciale, urbana) quando si vogliano esplicitare le ricadute territoriali di politiche di risparmio energetico o di produzione da FER.

La pianificazione energetica, nella sua accezione tradizionale, cerca di prevedere la configurazione ottimale tra il set di risorse e di sistemi di conversione di energia, adatta a soddisfare la domanda futura di energia. *L'attuale stato del sistema di approvvigionamento energetico è stato largamente influenzato da un approccio di ottimizzazione economica e prestazionale centralizzato* (trad HIREMATH 2005). L'utilizzo delle tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili, fortemente dipendenti dalle caratteristiche territoriali locali, e l'accresciuta convinzione dell'importanza di una gestione accurata dei consumi anche del settore residenziale hanno spostato l'attenzione alla pianificazione energetica su scale inferiori fino ad arrivare a quella urbana o del singolo quartiere.

Il settore residenziale consuma principalmente energia secondaria e rappresenta circa il 30% del fabbisogno mondiale di energia con percentuali diverse nazione per nazione (FIg. n°5.1).

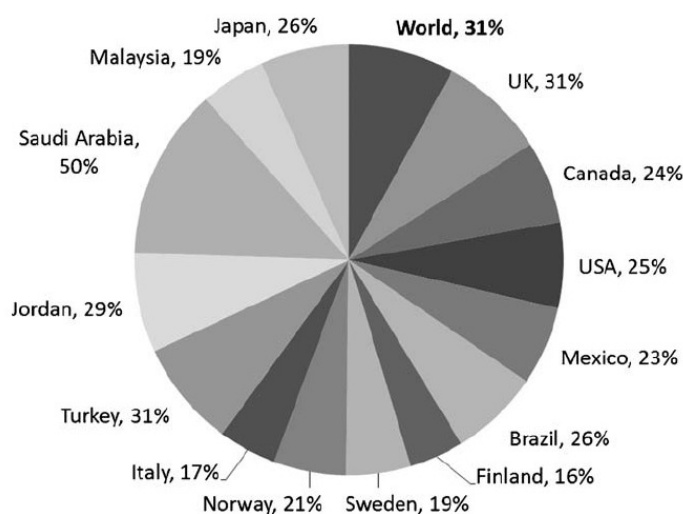



Fig. n°5.1: incidenza dei consumi per usi residenziali di alcune nazioni (SAIDUR 2007)

La definizione di un DSS per la pianificazione energetica rivolta al settore residenziale incontra però una serie di difficoltà che derivanti dalle caratteristiche intrinseche dell'oggetto di analisi. Nonostante l'apprezzabile incidenza dei consumi riferibili al settore residenziale, non esistono sistemi efficaci per il loro monitoraggio per via della natura particolarmente diffusa e variegata dei consumi. Le attività industriali e produttive sono più facilmente documentabili in quanto fonti localizzate di forti consumi sottoposte ad un alto livello di controllo. *Energy consumption of other major sectors such as commercial, industrial, agriculture and transportation are better understood than the residential sector due to their more centralized ownership, self-interest and expertise in reducing energy consumption, and high levels of regulation and documentation* (SWAN 2009)

Il consumo energetico per usi residenziali ha una natura diffusa sul territorio: essa è costituita da un universo fortemente variegato di micro utenze per le quali è difficile avere dei dati spazialmente riferibili e non sono generalmente possibili azioni di controllo puntuali. Esistono perciò numerosi studi che stimano

l'incidenza del settore sul bilancio energetico totale ma pochi sono in grado di esplicitarne spazialmente i contributi locali.

Focalizzando l'attenzione sui modelli che specificatamente si riferiscono al settore residenziale, Swan et altri affermano che la principale differenziazione tra i modelli in uso può essere ricondotta al tipo di approccio analitico: top-down o bottom-up. La differenza tra questi due metodi è la posizione gerarchica dei dati di input rispetto al risultato ricercato. *Top-down models utilize the estimate of total residential sector Energy consumption and other pertinent variables to attribute the energy consumption to characteristics of the entire housing sector. In contrast, bottom-up models calculate the energy consumption of individual or groups of houses and then extrapolate these results to represent the region or nation* (SWAN 2009)

I due approcci analitici si prestano all'uso di diversi metodi matematici di calcolo, e, presupponendo diversi dati input, forniscono risultati con precisioni e caratteristiche proprie. Swan, citando una serie di esperienze inerenti alla stima degli usi finali a scala regionale o nazionale, dagli anni '70 ad oggi, identifica le principali famiglie di metodi matematici utilizzati (fig n°5.2) e ne riassume i principali punti di forza e di debolezza.

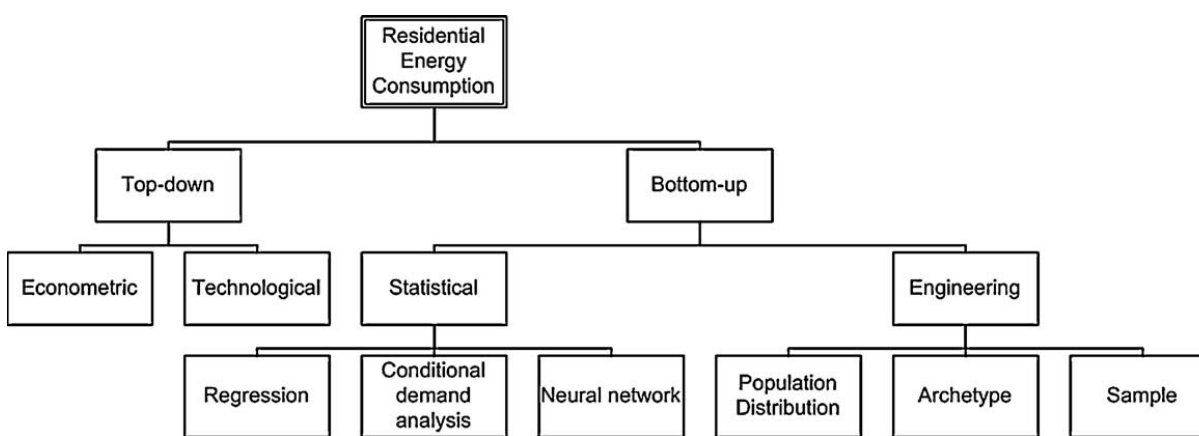



Fig. 5.2: Tecniche di modellizzazione del fabbisogno del settore residenziale (SWAN 2009)

Gli approcci top-down, relativamente facili da sviluppare, sono basati su indicatori di tipo macroeconomico (prezzi, reddito, clima, serie dei consumi energetici) e sono largamente utilizzati per le previsioni a medio e lungo termine della domanda per la fornitura di energia. Questi modelli ben rappresentano le relazioni tra i consumi energetici del settore residenziale e le variabili socio economiche ma, oltre che non avere la possibilità di approfondire la scala dell'analisi, mal riescono a simulare gli effetti dei progressi tecnologici; essi non possono prevedere gli effetti futuri di processi che non hanno serie storiche sulle quali basare le analisi. Di conseguenza, per la ricerca di un DSS per la definizione di politiche ed incentivi riferiti alle nuove tecnologie, l'attenzione verrà spostata su approcci bottom-up.

Questi ultimi si possono ulteriormente dividere in base al tipo di metodologia matematica utilizzata: di estrazione statistica o di tipo ingegneristico. Le metodologie statistiche legano, tramite svariati metodi di

regressione, i dati osservati dalle bollette di consumo energetico di un gruppo di edifici campione con le caratteristiche degli immobili ed altre variabili di natura socio economica. Tali metodi hanno il pregio di essere particolarmente flessibili, potendo legare con relazioni di natura inferenziale variabili diverse, ed avere architetture semplici basate su tipologie di dati aggregati e generalmente già disponibili. La caratteristica principale di questi modelli, insieme fattore di pregio e di debolezza, è che, utilizzando legami di natura inferenziale tra i consumi e le variabili descrittive del sistema, da una parte riescono a tenere conto delle abitudini comportamentali dell'utenza ma dall'altra non sono in grado di simulare le risposte del sistema ad innovazioni tecnologiche o politiche di incentivazione in quanto i coefficienti stimati non sono rappresentativi di grandezze fisiche o relazioni analitiche dirette.

Sono documentate numerose esperienze di uso di queste metodologie che riportano modelli regressivi molto raffinati, capaci di minimizzare l'errore residuo, ma nel caso il focus dello studio sia riferito alle innovazioni tecnologiche o fisiche degli edifici i metodi che risultano più adatti sono quelli di estrazione ingegneristica. Questi metodi partono dalle grandezze fisiche che caratterizzano il patrimonio edificato e, tramite metodi analitici, possono calcolare i fabbisogni energetici. La scelta di diversi dati di partenza porta alla strutturazione di metodologie di calcolo diverse: in generale a fronte di una forte rappresentatività dei fenomeni fisici si ottengono modelli con dati di input complicati e spesso difficilmente reperibili. Alcuni modelli si basano su dati riguardanti la presenza ed il tipo di impianti (ricavati da vendite, dati statistici o appositi censimenti) ed, utilizzando i dati fisici che li caratterizzano (potenza, efficienza), pervengono alla determinazione del consumo energetico del settore residenziale[1]. Altri modelli invece, al fine di esplicitare il legame tra i consumi i caratteri fisici del patrimonio edilizio, definiscono un insieme di prototipi di edifici rappresentativi dell'intero sistema, dei quali calcolare analiticamente i consumi, per poi moltiplicarlo per tutti gli edifici reali riconducibili ai prototipi preparati[2]; grazie all'uso di prototipi semplificati si riducono i dati di ingresso ed è possibile creare modelli mirati agli specifici aspetti oggetto di studio. Un simile procedimento può essere attuato utilizzando, al posto dei prototipi, un campione sufficientemente rappresentativo di casi reali[3]; teoricamente questo metodo rappresenterebbe al meglio la realtà ma il trattamento di una mole ingente di dati di ingresso e, soprattutto, la difficoltà nel reperimento degli stessi, ne limita fortemente l'utilizzo.

Swan richiama principalmente esperienze focalizzate alla determinazione degli usi finali dell'energia nel settore residenziale riferite ad una scala territoriale generalmente superiore di quella urbana di nostro interesse, ma fornisce una griglia volutamente esemplificativa dei diversi approcci che potrà essere di riferimento teorico nell'approntamento della metodologia (fig n°5.3). Esistono numerose esperienze che utilizzano approcci ibridi nell'intento di sfruttare i vantaggi propri dei diversi metodi di calcolo o di mitigarne i difetti; in ogni caso il riferimento a simili categorie teoriche è sempre forte ed esplicito.

---

[1] Ci si riferisce ai modelli indicati dal Swan et altr. come *Population Distribution*
[2] Ci si rifesce ai modelli indicati dal Swan et altr. come *Archetype*
[3] Ci si rifesce ai modelli indicati dal Swan et altr. come *Sample*

	Top-down	Bottom-up statistical	Bottom-up engineering
Positive attributes	• Long term forecasting in the absence of any discontinuity • Inclusion of macroeconomic and socioeconomic effects • Simple input information • Encompasses trends	• Encompasses occupant behaviour • Determination of typical end-use energy contribution • Inclusion of macroeconomic and socioeconomic effects • Uses billing data and simple survey information	• Model new technologies • "Ground-up" energy estimation • Determination of each end-use energy consumption by type, rating, etc. • Determination of end-use qualities based on simulation
Negative attributes	• Reliance on historical consumption information • No explicit representation of end-uses • Coarse analysis	• Multicollinearity • Reliance on historical consumption information • Large survey sample to exploit variety	• Assumption of occupant behaviour and unspecified end-uses • Detailed input information • Computationally intensive • No economic factors

Fig n°5.3 Pro e contro delle tecniche di modellizzazione [SWAN, 2009]

Riferendosi alla scala di nostro interesse, Shem (2008), nel loro studio delle variazioni del clima urbano a causa del calore rilasciato in atmosfera dagli edifici, riportano alcune esperienze di metodologie per la stima del fabbisogno energetico del patrimonio edificato dividendole ancora in approcci top-down e bottom-up. Sono descritte alcune esperienze riferibili ai due approcci e analizzate le principali caratteristiche circa i dati di ingresso e i risultati; in particolare: la qualità, la quantità e la reperibilità dei dati di ingresso; la qualità, la precisione, e la disaggregazione dei risultati. Per esplicitare i risultati ad un conveniente grado di disaggregazione, viene utilizzato un modello bottom-up basato sulla precisa definizione degli equilibri termici di prototipi rappresentativi dell'intero patrimonio edilizio.

Appare evidente che la scelta dell'approccio e della metodologia di calcolo non sia solo influenzata dall'obiettivo della ricerca, ma che abbia un peso fondamentale anche la tipologia dei dati di input. L'aspetto quantitativo dei dati, ossia la mera numerosità degli stessi, non è più un aspetto molto vincolante perché si sottintende un continuo aumento delle prestazioni dei calcolatori; al contrario la reperibilità dei dati, nei tempi e costi sostenibili e con l'accuratezza necessaria, è ancora un aspetto di primaria importanza.

La disponibilità di dati riferibili al patrimonio edilizio ed alle sue prestazioni termiche varia notevolmente a seconda dei contesti territoriali in cui ci si trova ad operare rendendo le metodologie non sempre direttamente esportabili.

Concludendo, gli aspetti principali da tenere in considerazione nell'approcciarsi alla modellizzazione dei fabbisogni energetici degli edifici possono essere:

lo scopo dello studio che implica una precisa scala e richiede una certa tipologia di risultati;

i dati di ingresso ed i sistemi di reperimento dei dati che condizionano le metodologie di calcolo;

l'algoritmo di calcolo che cerca di ottenere i risultati attesi con limiti imposti dai dati di ingresso, mantenendo semplicità d'uso e di lettura dei risultati.

Qualunque sia il modello o l'approccio utilizzato, e qualunque siano i risultati attesi, le voci di consumo ascrivibili al settore residenziale sono riassumibili in tre componenti, definite in base alle principali variabili dalle quali dipendono (SWAN 2009; ROBINSON 2007):

- *la quantità di energia necessaria al mantenimento del comfort dell'ambiente interno* ossia il riscaldamento ed il raffrescamento dell'edificio (*Heating, Ventilation and Air Conditioning, HVAC*), che dipende principalmente dagli elementi fisico-tecnologici dell'edificio quali l'orientamento, la qualità e la tipologia dell'involucro edilizio e tiene conto dei guadagni solari passivi e delle perdite per infiltrazione e ventilazione;
- *la quantità di energia per la fornitura dell'acqua calda sanitaria* (Domestic Hot Water, DHW) per gli usi appropriati ed in quantità sufficiente agli occupanti dell'edifico, che naturalmente dipende dal tipo di impianto utilizzato, ma mostra anche una forte variabilità legata al numero e alle abitudini degli occupanti;
- *la quantità di energia elettrica necessaria all'utilizzo degli elettrodomestici e per una adeguata illuminazione* (Appliances and lighting, AL), condizionata prevalentemente dalle abitudini degli utilizzatori.

5.2 Gli Elementi che determinano le prestazioni energetiche dell'edifico

La valutazione delle prestazioni energetiche del sistema edificio dipende da molti fattori (fig n°5.4) alcuni di natura prettamente fisica, ed in qualche modo misurabili, altri di carattere più immateriale di difficile quantificazione. Questa indeterminatezza, se per alcuni aspetti è trascurabile al livello del singolo edificio, può assumere dimensioni rilevanti quando si stiano valutando le caratteristiche energetiche di un sistema urbano.

Gli elementi che determinano la variabilità della prestazione energetica possono riassumersi nei cinque punti proposti da Ratti ed altri (2005): il clima, dal quale si possono ricavare le temperature stagionali, i valori di irraggiamento solare e di ventosità che stanno alla base del calcolo del fabbisogno energetico; il contesto urbano, da cui ricavare i fattori di ombreggiamento ed irraggiamento degli edifici; la forma ed i materiali dell'involucro edilizio, da cui ricavare i valori di trasmittanza e le superfici di dispersione; la tipologia degli impianti (HVAC, DHW, AL) da cui ricavare i consumi di energia primaria necessari a garantire adeguati standard di comfort e di servizio; l'utenza, che influenza fortemente alcuni tipi di consumi.

1_Clima
2_Contesto urbano
3_Edificio
4_Impianti
5_Utenti
PRESTAZIONE ENERGETICA

Fig n°5.4, Fattori che condizionano la prestazione energetica di un edificio (adattato da Ratti 2005)

Il consumo per HVAC è dipendente dal clima locale e varia sensibilmente in funzione dei materiali dell'involucro e della tipologia edilizia: all'interno di uno stesso quartiere si possono trovare edifici di diverse tipologie e materiali che mostrano perciò differenti fabbisogni energetici per HVAC.

I dati climatici si possono considerare in prima battuta una costante, in quanto generalmente caratterizzano aree territoriali piuttosto vaste, e perciò vengono utilizzati come dati di partenza per il calcolo delle prestazioni termiche di tutti gli edifici appartenenti ad un dato ambito urbano.

La variabilità delle tipologie edilizie, dei materiali costruttivi, e soprattutto delle soluzioni impiantistiche col loro rispettivo stato di manutenzione, rende difficile categorizzare il patrimonio edilizio in pochi insiemi rappresentativi che ne possano spiegare adeguatamente la complessità. In situazioni di tessuti urbani consolidatisi nel tempo, si possono trovare nello stesso quartiere edifici differenti non solo per le caratteristiche fisico-impiantistiche dal quale discendono le prestazioni termiche, ma anche per le opportunità di ristrutturazione, di riqualificazione energetica e di impiego delle tecnologie di micro generazione da FER.

Alla scala del singolo edificio, le leggi che descrivono il comportamento fisico del sistema involucro edilizio – HVAC, sono da ritenersi per lo più note, così come le opportunità offerte dai più diffusi sistemi di micro generazione da FER: la Comunità Europea e gli stati nazionali hanno emanato normative tecniche e leggi atte a garantire i requisiti termici prestazionali minimi degli edifici. Esistono perciò numerosi modelli di calcolo e software applicativi, comunemente in uso, dedicati al calcolo delle prestazioni energetiche dell'edificio o alla verifica dei requisiti di legge propri di ogni nazione. I modelli di calcolo riferiti al singolo immobile risultano però inadatti quando si sposti l'attenzione al livello urbano, dove la quantità dei dati necessari e l'incompletezza degli stessi rendono impossibile un approccio di dettaglio con tempi e costi ragionevoli.

Nel caso degli edifici esistenti, diversamente dalle nuove costruzioni, la dettagliata definizione delle prestazioni termiche si complica per la necessità di effettuare misurazioni strumentali[4] in quanto non è possibile dal semplice esame visivo, per quanto accurato, determinare la natura dei materiali: uno stesso immobile può avere elementi aggiunti in tempi differenti con diverse apparecchiature costruttive, che a prima vista non mostrano apprezzabili differenze esteriori. Le normative, volte alla verifica dei requisiti prestazionali degli edifici da parte delle amministrazioni nazionali, utilizzano modelli semplificati rispetto a quello fisico rigoroso, per snellire le operazioni di calcolo e facilitare la comprensione dei risultati anche ad un'utenza non necessariamente esperta. I modelli semplificati correntemente in uso per la Certificazione Energetica (metodologia UNI 11300) compiono alcune semplificazioni circa: le influenze reciproche tra edifici, i comportamenti in regime estivo, le variazioni locali delle condizioni climatiche, l'effettiva composizione dei paramenti murari, il dimensionamento degli impianti di produzione da FER.

Inoltre esistono alcuni fenomeni fisici, spesso ignorati al livello del singolo edificio, che assumono una dimensione non trascurabile se visti nel complesso urbano quali: il fenomeno dell'ombreggiamento ed irraggiamento reciproco tra gli edifici, l'effetto dell'isola del calore del microclima urbano e l'effetto canyon.

[4] Non sempre si può definire con esattezza la composizione delle chiusure opache dalla semplice osservazione della struttura e non è quasi mai possibile effettuare dei saggi esplorativi, perciò sono correntemente in uso alcune tecniche di misurazione non distruttive quali: la termoflussimetria, che misura la trasmissione di calore negli elementi opachi; la termografia, che tramite l'uso di camere ad infrarossi misura la temperatura superficiale dell'involucro edilizio alla ricerca di ponti termici o infiltrazioni d'acqua; il blower test che misura la tenuta d'aria degli infissi. Queste tecniche che appartengono alle metodologie di diagnosi energetica (Energy audit) sono appannaggio di competenze molto specialistiche alle quali non sempre si può ricorrere nel limitato budget della edilizia privata.

All’interno di ambiti urbani particolarmente densi si può verificare il fenomeno dell’Isola di calore per effetto del quale si possono registrare consumi energetici sensibilmente diversi da quelli calcolati con i dati medi regionali (SHEM 2008). Ratti et altri (2005) partendo dal DEM di alcune grandi città europee (Londra, Tolosa, Berlino), esplicitano l’influenza della forma urbana nel bilancio termico degli immobili. Lo studio conclude assegnando, alla forma urbana che determina l’ombreggiamento e l’irraggiamento reciproco tra gli edifici, un’influenza di circa il 10% sul fabbisogno termico, abbastanza indipendente dall’orientamento principale delle facciate, perché ciò che si risparmia con l’esposizione a sud durante l’inverno si spende per il raffrescamento estivo e l’illuminazione degli interni. Considerando però solo le prestazioni in regime invernale, e trascurando la variabilità dei fattori inerenti le AL, l’influenza del fattore forma sul bilancio termico dell’edificio può essere senz’altro considerato superiore.

Un'altra limitazione al calcolo dell’esatta prestazione energetica di un edificio è il non prevedibile comportamento umano che ha una diretta influenza in una serie di parametri quali (ROBINSON 2007): le perdite di calore dovute al ricambio d’aria a causa delle diverse abitudini di apertura e chiusura di porte e finestre; l’influenza dell’irraggiamento di calore attraverso i vetri, a causa dell’uso di persiane e dispositivi di ombreggiamento; il consumo elettrico e i guadagni di calore interno, per l’uso e la presenza di dispositivi elettrici ed elettrodomestici; le prestazioni e i consumi degli impianti di raffrescamento, riscaldamento e ventilazione, a causa delle preferenze individuali nella regolazione della temperatura interna e dei tempi di accensione; il consumo per DHW, in relazione alla numerosità ed alle abitudini degli utenti.

I comportamenti degli utilizzatori assumono un ruolo chiave nel dimensionamento di servizi di fornitura di energia a livello distrettuale, dove i comportamenti abituali degli utenti possono generare picchi di consumo localizzati in strette fasce temporali per i quali si deve garantire un’adeguata scorta di potenza. Considerando il comportamento umano razionale rispetto dalle condizioni ambientali[5], Page ed altri (2006) sviluppano un modello stocastico incentrato sulla determinazione della presenza umana nei locali dalla quale si può definire l’influenza delle azioni umane nel consumo energetico. La presenza umana, e quindi le abitudini dell’utenza, influenzano prevalentemente i consumi per DHV e AL e partecipano anche al bilancio termico dell’involucro attraverso la ventilazione ed i guadagni interni di calore. Uno studio di Entrop (2009) mostra come, nei loro edifici campione olandesi, il fabbisogno annuo a metro quadrato stimato con tecniche analitiche semplificate sia generalmente sovrastimato del 15-20% rispetto ai consumi effettivi ricavabili dalle bollette dei consumi di gas ed elettricità; inoltre in più casi, il cambiamento del numero dei componenti della famiglia ha determinato variazioni dei consumi di energia elettrica veramente consistenti che dimostrano come il consumo reale possa essere, in alcuni casi, determinato maggiormente dal numero e dalle abitudini degli occupanti piuttosto che dalle caratteristiche fisiche dell’edificio. Tale dipendenza risulta però molto ridimensionata nei confronti nel consumo registrato di gas naturale, prevalentemente

[5]Si suppone ad esempio, che se la temperatura interna o il livello di inquinamento dell’aria superano quella di benessere l’occupante sarà portato ad aprire la finestra o attivare la ventilazione.

utilizzato per il riscaldamento invernale, sottolineando come il consumo di energia per il comfort interno sia meno dipendente dal fattore umano rispetto ai fabbisogni per DHV e AL.

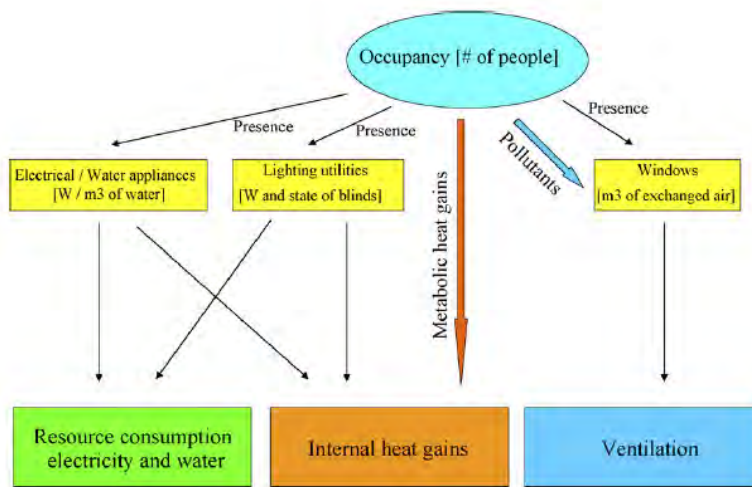



Fig. n°5.5, legame tra la presenza dell'uomo ed il fabbisogno energetico degli edifici (PAGE 2002)

Appurato che l'esatta determinazione del fabbisogno termico di un singolo edificio rimane uni esigenza limitata a campi specifici e che le norme nazionali stesse suggeriscono una serie di semplificazioni in sede di certificazione energetica in nome della semplicità di lettura e della limitazione dei costi, quanto più si salga di scala e ci si avvicini alla dimensione urbana, territoriale, nazionale, tanto più sarà necessario compiere semplificazioni ed approssimazioni funzionali a conseguire lo scopo che lo studio si propone.

5.3 La determinazione delle potenzialità dei miglioramenti tecnologici

La stima delle prestazioni termiche degli edifici per la determinazione degli usi finali dell'energia primaria, dai quali calcolare le emissioni o i costi annui, può essere uno strumento idoneo a valutare gli effetti di soluzioni tecnologiche migliorative delle prestazioni dell'involucro o dell'efficienza degli impianti. I modelli fisici dell'edificio si prestano a simulare gli effetti dei cambiamenti delle caratteristiche dell'involucro o degli impianti al fine di poter valutare la soluzione migliore rispetto a qualunque insieme valoriale. È una pratica consolidata, nel campo della riqualificazione energetica degli edifici e nella micro generazione da FER, la simulazione, tramite algoritmi più o meno complessi, di diversi scenari progettuali al fine di valutarne il risparmio energetico, i tempi di ritorno dell'investimento e la fattibilità tecnica. Questo vale tanto per le nuove costruzioni, dove si presenta davanti al progettista una grande quantità di soluzioni possibili tra le quali decidere, tanto per le ristrutturazioni, dove le soluzioni possibili si scontrano spesso con limiti tecnici ed economici che ne restringono il campo di scelta.

I principali tipi di intervento di miglioramento delle prestazioni energetiche dell'edificio esistente possono riguardare (DIAKAKI 2008):

misure per l'incremento della resistenza termica dell'involucro edilizio, quali aumento dell'isolamento termico o dell'inerzia termica delle chiusure opache ed il miglioramento delle prestazioni delle finestre; misure per l'aumento dell'efficienza degli impianti tramite l'uso di più caldaie più efficienti, sistemi di distribuzione del calore a bassa temperatura, sistemi di ventilazione con recupero del calore;

misure per la minimizzazione dei consumi per riscaldamento e raffrescamento tramite l'uso di sistemi passivi, quali serre solari, vetri selettivi, schermature solari, ventilazione naturale;

utilizzo di elettrodomestici e apparecchi luminosi ad alta efficienza e razionalizzazione dell'illuminazione degli interni;

utilizzo di tecniche intelligenti di *Energy management* per la regolazione automatica dei termostati degli impianti ed il monitoraggio delle condizioni di confort interno;

utilizzo di sistemi di produzione da FER quali pannelli solari termici e fotovoltaici o altri sistemi ibridi a biomasse.

Simulare con modelli fisici dettagliati una così grande quantità di possibili combinazioni tra le soluzioni tecniche esistenti, alla ricerca della soluzione ottimale all'interno di un dato limite di spesa, è una attività costosa per il tempo e le competenze tecniche specialistiche che entrano in gioco, che non sempre è sostenibile all'interno di un comune iter progettuale. Perciò la definizione delle prestazioni termiche dell'edifico tramite utilizzo di dettagliati modelli fisici dinamici è generalmente utilizzata per scopi scientifici, mentre, nella pratica progettuale, si ricorre ai modelli fisici semplificati proposti dalle normative europee e nazionali. Ma anche l'applicazione degli algoritmi di calcolo previsti dalle norme tecniche comporta onerose opere di editing dei dati e lascia al giudizio ed all'esperienza del progettista la scelta delle soluzioni tecniche su cui effettuare le verifiche. Inoltre le metodologie di calcolo utilizzate nei software commerciali più diffusi, pur essendo congruenti con le prescrizioni e gli standard proposti dalle norme tecniche nazionali, producono risultati anche notevolmente difformi tra loro in funzione delle ipotesi semplificative di calcolo assunte ed alle diverse procedure di immissione dei dati. Da un confronto (BAGGIO 2008) tra le principali metodologie italiane (CENED, ECODOMUS, DOCET, CASACLIMA) con i risultati di un modello dinamico di dettaglio (TRNSYS) si sono rilevati scostamenti, anche notevoli, che mostrano, in generale, una sovrastima del fabbisogno proporzionale al livello di semplificazione della metodologia. Un fattore critico è stato riscontrato nella modellizzazione dell'influenza dei ponti termici che ha mostrato scostamenti anche del 75% in quanto le metodologie semplificate non riescono a coprire l'enorme varietà di configurazioni possibili dei casi reali.

Esistono numerose esperienze che cercano di fornire strumenti di aiuto alla progettazione per superare i limiti di costose procedure di immissione e rilievo dei dati, o di complicati calcoli per la scelta tra le possibili alternative. Jaffal (2009), nella sua ricerca di un metodo speditivo per la progettazione di un singolo edificio partendo dal suo fabbisogno energetico, afferma che esistono essenzialmente tre tipi di approccio: simulazioni dinamiche basate su precise descrizioni fisiche dell'edificio, molto accurate ma con una gran quantità di dati di input e procedimenti complicati di calcolo;

metodi analitici speditivi che utilizzano parametri fisici semplificati, di veloce e facile utilizzo a scapito della accuratezza della previsione;

metodi statistici che applicano tecniche di regressione che, utilizzando come variabili indipendenti i parametri fisici, possono prevedere con semplicità il comportamento termico dell'edificio con grande precisione.

Si può concludere dicendo che la scelta tra le diverse tecnologie di risparmio energetico è ancora una attività che ricade prevalentemente nell'ambito delle capacità di sintesi dei progettisti che, pur appoggiandosi a metodologie e software specifici per valutarne la fattibilità economica ed tecnica, effettueranno la scelta in base alla propria esperienza e conoscenza del problema. Riportando il problema alla scala urbana, dove molte variabili su cui basare la decisione sono spesso difficilmente riconoscibili, la scelta tra diverse ipotesi progettuali diventa un'attività particolarmente complessa che non potrà che essere basata su un processo iterativo di confronto tra alternative.

5.4 Alcuni casi di studio di riferimento

Nel vasto panorama di contributi nazionali ed internazionali studiati per questo lavoro, si sono selezionati e approfonditi alcuni "casi di studio di riferimento" che presentano caratteristiche molto utili alla ricerca sia per le metodologie proposte che per gli scopi dichiarati.

5.4.1 *Predicting the urban solar fraction: a methodology for energy advisers and planners based on GIS*

Tramite una serie di articoli (GADSDEN 2000-2003a 2003b, RYLATT 2001, ROBINSON 2003) gli autori mostrano i risultati raggiunti nell'ambito dell'implementazione di un GIS tool "Solar Energy Plannig" (SEP) pensato per essere un DSS per la formulazione di politiche di incentivazione e di gestione dello sfruttamento dell'energia solare in ambito urbano. Il SEP si propone sia di definire il potenziale sfruttabile con le principali tecnologie in uso (solare termico, fotovoltaico, solare passivo) che di stimare in peso delle nuove tecnologie nel bilancio energetico degli edifici.

L'approccio bottom-up proposto parte dalle caratteristiche facilmente leggibili degli edifici esistenti per ottenere una stima grossolana dei consumi che possa dare informazioni utili al planning urbano.

La metodologia quindi si divide in due parti: la prima utilizza una versione semplificata nei parametri di input del BREDEM-8[6] capace di calcolare i consumi energetici in termini di riscaldamento, illuminazione, acqua calda sanitaria a partire dai paramenti fisici dell'edificio; la seconda cerca di definire il potenziale di sfruttamento delle energie solari.

Sistema di classificazione dell'edificato

Per determinare i consumi per ogni singolo edificio sarebbero necessarie operazioni di reperimento dei dati inerenti la forma, i materiali e gli impianti, informazioni impossibili da reperire alla scala urbana. Per

[6] Si tratta del software ufficiale per il calcolo del consumo energetico di un edificio in uso in UK, la versione 8 è in grado di calcolare le prestazioni mensili dell'edificio

semplificare le operazioni di input dei dati, la metodologia applica una serie di semplificazioni con i seguenti passaggi (Fig. n°5.6).

A priori si definiscono le tipologie edilizie che possano rappresentare la complessità del patrimonio edificato esistente: nel caso di studio si sono individuate sei tipologie. Si è poi utilizzato un GIS-tool "Footprint tool" capace di identificare la superficie disperdente di un edificio a partire da polilinee chiuse rappresentati l'edificato sulla cartografia numerica vettoriale e tramite l'assegnazione da parte dell'utente della superficie ad una delle tipologie pre-impostate. Sempre grazie alla semplificazione inserita nei modelli si possono quantificare le volumetrie riscaldate e non.

Partendo dalla considerazione che le tecniche costruttive si sono evolute nel tempo seguendo le prescrizioni normative, i dati relativi ai materiali di costruzione e le apparecchiature costruttive vengono desunti dall'età dell'edificio; parimenti vengono assegnate le percentuali di superficie finestrata riferendosi ai limiti di legge o alle consuetudini costruttive.

Per quanto riguarda gli impianti si sono utilizzati i dati statistici medi nazionali legati all'età dell'edificio contenuti nel programma *English House Condition Survey* che aggiorna ogni cinque anni la collezione dei dati circa i tipi di sistemi per HVAC, DHW, e AL.

Per quanto riguarda gli altri dati necessari al calcolo della prestazione energetica quali, i ricambi d'aria, il numero di occupanti e il fabbisogno di acqua calda si sono utilizzati i dati medi standard presenti nel software.

Per verificare le assunzioni effettuate nella definizione dei tipi degli edifici, e per ottenere preziose informazioni circa l'ombreggiamento, i tipi di vetri ed altro, si sono associati sopralluoghi lungo le strade. Inoltre sono stati distribuiti dei questionari, in larga parte rilevatisi inutili per le risposte errate o mancanti. Altro aspetto è che solo l'1% degli edifici ha delle prestazioni energetiche note dalle autorità per mezzo di pratiche edilizie, quindi per la maggior parte degli edifici si sono dovuti usare i dati stimati.

Modello di previsione del potenziale solare

In primo luogo i sistemi solari di guadagno passivo sono stati ritenuti calcolabili e rilevanti nei soli edifici di nuova realizzazione perché è possibile avere tutti i dati relativi alle prestazioni energetiche, calcolate con BREDEM-8, nel momento in cui viene presentato il progetto. Il metodo per calcolare il guadagno solare passivo è basato sulle caratteristiche di facciata principale, vetri, orientamento, e ombreggiamento.

Per valutare i potenziale solare per fotovoltaico e solare termico negli edifici esistenti e per i nuovi edifici si è predisposto un sistema a tre stadi: filtro, obiettivo, calcolo del potenziale (fig. n°5.7).

Select an individual dwelling or a group of dwellings
User identifies the properties to undergo modelling.

↓

Completion of data sets for individual properties: dwelling classification system
Use of real data where possible then GIS customised tools and rules based on the age and built form of the dwelling to automatically complete partial data sets.

↓

Predict baseline energy consumption of individual dwelling
Use database-integrated version of BREDEM-8.

→ Results displayed through GIS

↓

Feedback to user on level of confidence to place in result
User can decide whether further data collection in the form of a rapid site survey, Home Energy Survey Form or full property survey is required.

↓

Passive solar design
(new developments only)
Use parametric engine to consider the key passive solar design techniques.

Solar water heating and photovoltaic systems
(new and existing developments)
Three stage hierarchical approach:
1. Filtering
2. Targeting
3. Detailed solar potential calculation

Results displayed through GIS

Fig. n°5.6, diagramma di flusso per la determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici

1_filtro: orientamento del tetto +/-45° sud, inclinazione del tetto tra 5° e 60°; area del tetto > 3mq
Tali dati possono essere presi dalle prescrizioni urbanistiche e dai regolamenti, dall'osservazione di aerofoto, o veloci sopralluoghi. Il SEP è capace di identificare da una cartografia vettoriale, integrata con sopralluoghi, l'orientamento e l'inclinazione del tetto di ogni edificio. Se l'edificio non dovesse superare i filtri relativi all'orientamento e l'inclinazione, più quello dell'ombreggiamento valutabile solo col sopralluogo, non verrà passato alla parte successiva del processo di calcolo.
2_obiettivo: esiste una serie di dati socio economici riferibili ai proprietari ed agli immobili che può rendere improbabile una progettualità verso l'uso delle fonti solari: fattori economici, di proprietà, affollamento ed altro. La fase è facoltativa ma può essere molto interessante per legare gli effetti di politiche di diverso tipo con l'uso delle fonti rinnovabili
3_avendo i mq esposti, con i rispettivi orientamenti si possono applicare metodi di calcolo del potenziale dei sistemi solari termici o fotovoltaici, ottenendo una stima del loro apporto anche con precisione mensile. Il sistema, oltre a dare la somma totale dei consumi e del potenziale di sfruttamento dell'energia solare,

fornisce anche una rappresentazione spaziale. Il SEP è poi in grado di fornire risultati aggregati in grafici di confronto tra gli scenari di trasformazione e restituisce interpretazioni spaziali dei risultati.

Select an individual dwelling or a batch of dwellings.

Filtering
- restrictions
- roof orientation
- roof inclination
- roof area

Fail
Dwelling is not suitable for solar water heating.

Pass
Dwelling is suitable for solar water heating.

Optional process to produce a sub-set of dwellings where the uptake of a solar water heating system is most likely to occur.

Targeting
- ownership of dwelling
- income of occupants
- number of occupants
- floor area of dwelling
- value of dwelling
- type of dwelling

Viable
Dwelling a prime target for installing a solar water heating system.

Not viable
Dwelling no longer considered – could target at a later date if circumstances change.

Planner has option of either concluding the investigation or performing a calculation.

Solar water heating potential (non-numerical result).

Detailed solar potential calculation
- modified BS5918 method .

Solar water heating potential yield (numerical result).

Fig. n°5.7, diagramma di flusso del modello di previsione del potenziale solare

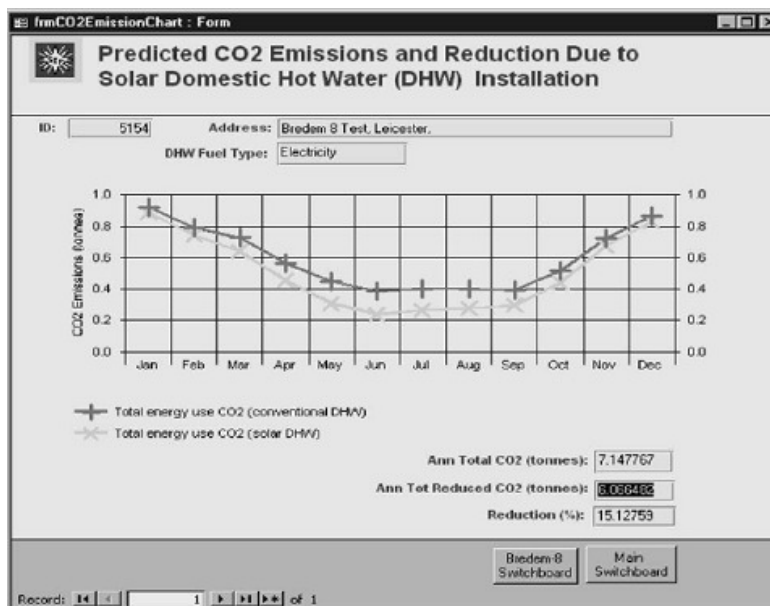



Fig. n°5.8, esempio di risultato di SEP

5.4.2 *SUNtool – A new modelling paradigm for simulating and optimising urban sustainability*

Il Sustainability of Urban Neighbourhoods tool "SUNtool" (ROBINSON, 2007) cerca di fornire uno strumento completo per la pianificazione energetica in ambito urbano. L'articolo spiega la metodologia nei suoi dettagli ed esiste un sito dedicato[7] sul quale sono disponibili informazioni dettagliate circa le applicazioni fatte in alcune città europee (non ve ne sono italiane). Il tool è stato sviluppato da un team internazionale di ricercatori che mette a sistema una serie di proprie esperienze nei diversi aspetti dello sviluppo del modello, con una particolare attenzione alla funzione dello strumento quale sistema di aiuto alla decisione in ambito urbano.

L'architettura generale del software è divisa tra l'interfaccia e il solver, dall'interfaccia si possono gestire i dati di input, (dati climatici, gli edifici ecc) mentre le procedure di calcolo sono inserite nel solver (fig. n°5.9)

[7] http://www.suntool.net/

INTERFACE
Select location and corresponding "iDefaults" dataset (climate, occupancy schedule, appliances, glazing ratio, constructions, systems, etc)
3-D geometry modeller (compose building envelopes)
Define systems & type of use (residential, office, school etc.). Adapt associated iDefault parameters
Define simulation settings
Interpret results

SOLVER
Microclimate models
daylight model
Transient heat flow solver
Plant and equipment models
Stochastic occupancy-related models (presence, appliances, windows, lighting & shading, refuse)

Fig. n°5.9, Schema concettuale di SUNtool (ROBINSON 2007)

Il microclimate models parte dal presupposto che l'influenza dell'ombreggiamento e l'irradiazione reciproca tra gli edifici non siano un effetto trascurabile, così come non lo siano le variazioni delle condizioni climatiche generate dall'effetto isola di calore. Per valutare l'influenza dell'ombreggiamento hanno implementato un algoritmo semplificato per la valutazione della radiazione "SRA" tra gli edifici proposto dallo stesso Robinson (2005), mentre per l'atro aspetto, dopo un breve excursus sull'influenza dell'effetto isola, si è optato per non considerarlo nel modello. Per modellizzare il comportamento termico degli edifici in base ai dati di input si è scelto di applicare il modello semplificato tipo grey-box (DE' QUE' 2000) che permette di limitare i parametri di input e le operazioni computazionali. Grande rilievo è stato dato all'inserimento di una robot capace di stimare l'influenza delle abitudini degli utenti dell'edificio (PAGE 2007) tramite un modello stocastico di previsione della presenza umana. Supponendo l'utente razionale, ossia ritenendo prevedibili i suoi comportamenti al variare delle condizioni ambientali, la variabile casuale rimane solo la presenza umana negli ambienti; in questo modo si stima l'influenza delle abitudini dell'utente sui ricambi d'aria per ventilazione, l'uso delle schermature solari, l'uso degli apparecchi elettrici e la produzione di rifiuti. Per quanto riguarda la modellizzaione degli impianti, si è generato un algoritmo semplificato che considera tre nodi del sistema e le perdite tra questi. Le "zone" rappresentano il fabbisogno degli edifici, che deriva dai parametri fisico-comportamentali editati in precedenza; sempre in ogni edificio vi è il building energy centre (BEC) che contiene il possibile mix di tecnologie per la soddisfazione del confort interno. Il terzo nodo rappresenta eventuali sistemi di fornitura di servizi centralizzati a livello urbano al quale possono essere collegati naturalmente più BEC (fig 5.10).

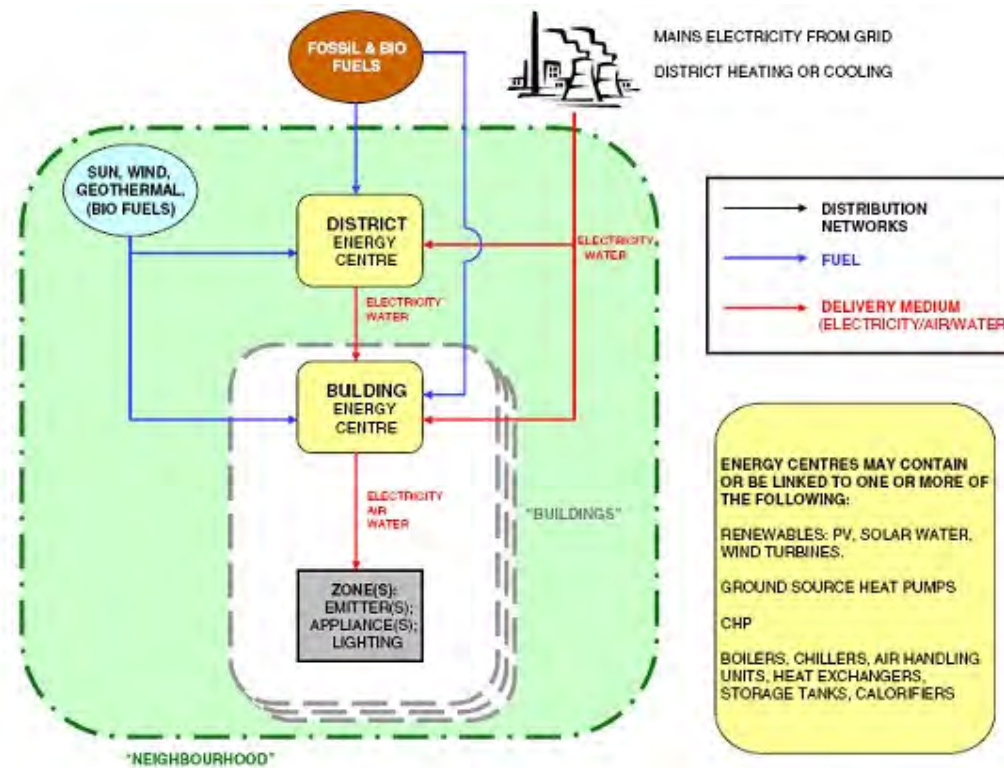



Fig. n°5.10, Centri di produzione di energia e circuiti di distribuzione (BEC in SUNtool)

L'utente può editare le caratteristiche dei BEC e dei DEC tramite semplici interfacce (fig. n°5.11) che prevedono la presenza contemporanea di più sistemi al fine di modellizzarne l'interazione. Gli algoritmi di calcolo sono però molto semplificati: gli stessi autori avvertono che i risultati ottenuti non possono essere usati in sede di pianificazione energetica per il dimensionamento di impianti di fornitura di servizi, e sottolineano che l'utilizzo è principalmente rivolto alla valutazione delle alternative in sede di definizione preliminare di politiche di incentivazione o processi di trasformazione della città.

Table 1
SUNtool rules for connecting sources/generators to energy centres

Delivery medium (end use)	Source/energy generator (not all listed)								
	DEC	CHP	Boiler	Chiller	Heat pump	Solar thermal	PV	Wind turbine	Mains supply
Building Energy Centre (BEC)									
Hot water (space heating)	☑	☑	☑		☑	☑			☑
Heated air (ventilation/space heating)	☑	☑	☑		☑	☑			☑
Domestic hot water (washing)	☑	☑	☑		☑	☑			☑
Chilled water (space cooling)	☑			☑	☑				☑
Cooled air (ventilation/space cooling)	☑			☑	☑				☑
Electricity (lighting)	☑	☑					☑	☑	☑
Electricity (small power)	☑	☑					☑	☑	☑
District energy centre (DEC)									
Hot water (space heating)		☑	☑		☑	☑			☑
Chilled water (space cooling)		#		☑	☑	#			☑
Electricity (all power demands)		☑					☑	☑	☑

#: If linked to e.g. an absorption chiller.

Table 2
Possible specifications of HVAC systems and controls at a building level

Per building per use	Options
Heating system	Radiators; convectors (natural); underfloor heating; fan convector; fan coil unit (four-pipe); air (mechanical ventilation)
Cooling system	Chilled ceiling; chilled beam; fan coil unit (four-pipe); radiant panel (generic); air (comfort cooling)
Ventilation system	Natural ventilation; mechanical ventilation (MV) [supply + extract]; mixed-mode for MV: fresh air requirement (l/s/person) + heat recovery efficiency
Environmental conditions	Fixed set-points for heating and cooling with plant on/off times and night-time setback Dynamic set-points (that can be set on an hourly annual basis if so desired) via use of GUI profile/calendar

Fig. n°5.11, interfaccia di personalizzazione del BEC e del DEC

Come si può notare nelle opzioni di personalizzazione degli impianti sono presenti anche le principali tecnologie per la micro-generazione da FER; la simulazione di scenari alternativi avviene facendo girare il software inserendo diversi mix di impianti, i risultati possono essere estratti in base a diversi intervalli temporali (annuali, stagionali, mensili). Ogni soluzione impiantistica proposta ha editabili le sue principali caratteristich;, per esempio per quanto riguarda il solare termico e fotovoltaico si può inserire la superficie.

Nell'interfaccia del software si è prestata molta attenzione ai formati tramite i quali questo può acquisire le informazioni circa le volumetrie e la forma dell'edificato, realizzando una forte compatibilità coi principali formati dei programmi commerciali. Oltre che essere capace di leggere le geometrie 3D da altri formati, SUNtool è in grado di crearle da sé in base a dati planimetrici ed informazioni inserite nella fase di immissione dei dati da parte dell'utente.

Tramite l'interfaccia, all'inizio di un nuovo progetto, si possono inserire i parametri climatici e una serie di ipotesi semplificative per il calcolo delle prestazioni energetiche attraverso il metodo grey box; in particolare le caratteristiche costruttive, i materiali, la superficie finestrata sono assegnate tramite l'implementazione da parte dell'utente dell'epoca di costruzione dell'edificio. Il software collega automaticamente le caratteristiche tipiche delle costruzioni in base alle consuetudini costruttive nazionali al variare del periodo storico; comunque, al fine di dare esplicitazione a caratteristiche locali, questi profili di base possono essere editati completamente, e vi è anche la possibilità di editare le caratteristiche puntuali anche di un solo edificio.

Il software è in grado con ragionevoli tempi di calcolo (100 edifici ogni 10min) di restituire output cartografici, confronti tramite grafici, visualizzazioni 3D. Si riportano qui due applicazione di SUNtool che ne mostrano le possibilità[8].

La prima riguarda lo studio della proporzione ottimale tra il rapporto di superficie finestrata e la larghezza dei canyon urbani in un ipotetico progetto situato ad Atene: SUNtool prevede l'andamento dei guadagni solari e dei consumi (riscaldamento, raffrescamento, illuminazione) al variare della superficie finestrata e fornisce il calcolo delle emissioni di CO_2 sul quale basare l'individuazione della soluzione ottimale (fig n°5.12).

L'altra applicazione riguarda la valutazione dell'installazione ottimale di impianti fotovoltaici per il villaggio olimpico di Atene. Dal calcolo del consumo elettrico annuale, ottenuto con SUNtool, si ottiene che sarebbero necessari circa 5mq di impianto a persona; ma da un confronto su base mensile si scopre che più del 49% della produzione viene mandata in rete a causa di surplus di produzione soprattutto nei mesi invernali per il mancato uso degli impianti raffescamento. Si ottiene quindi che una soluzione che la soluzione che massimizza l'impiego della potenza installata: il valore si attesta su poco più di 1mq procapite (fig. n°5.13).

I principali limiti di SUNtool sottolineati dagli stessi autori sono:

- la mancanza di moduli per la stima del ciclo dei rifiuti e dell'illuminazione stradale, l'estrema semplificazione dei tipi di impianti per la fornitura di energia che non permette la modellizzazione di molte tecnologie tra le quali quelle a biocombustibile;
- la mancanza di output valutativi circa la fattibilità economica degli scenari di progetto;
- la mancanza di output valutativi circa il ciclo di vita dei materiali (LCA).

Per quanto riguarda l'ottica specifica della nostra ricerca SUNtool presenta due forti limiti:

1. la mancanza di parametri riguardanti la fattibilità economica che ridimensionano molto l'efficacia del DSS in un caso reale;
2. l'uso della modellizzaione Grey box che, pur alleggerendo il carico computazionale del calcolatore, non da alcuna evidenza agli elementi fisici riguardati l'involucro che sono l'oggetto di importati politiche di riqualificazione energetica differenziate per elemento di fabbrica.

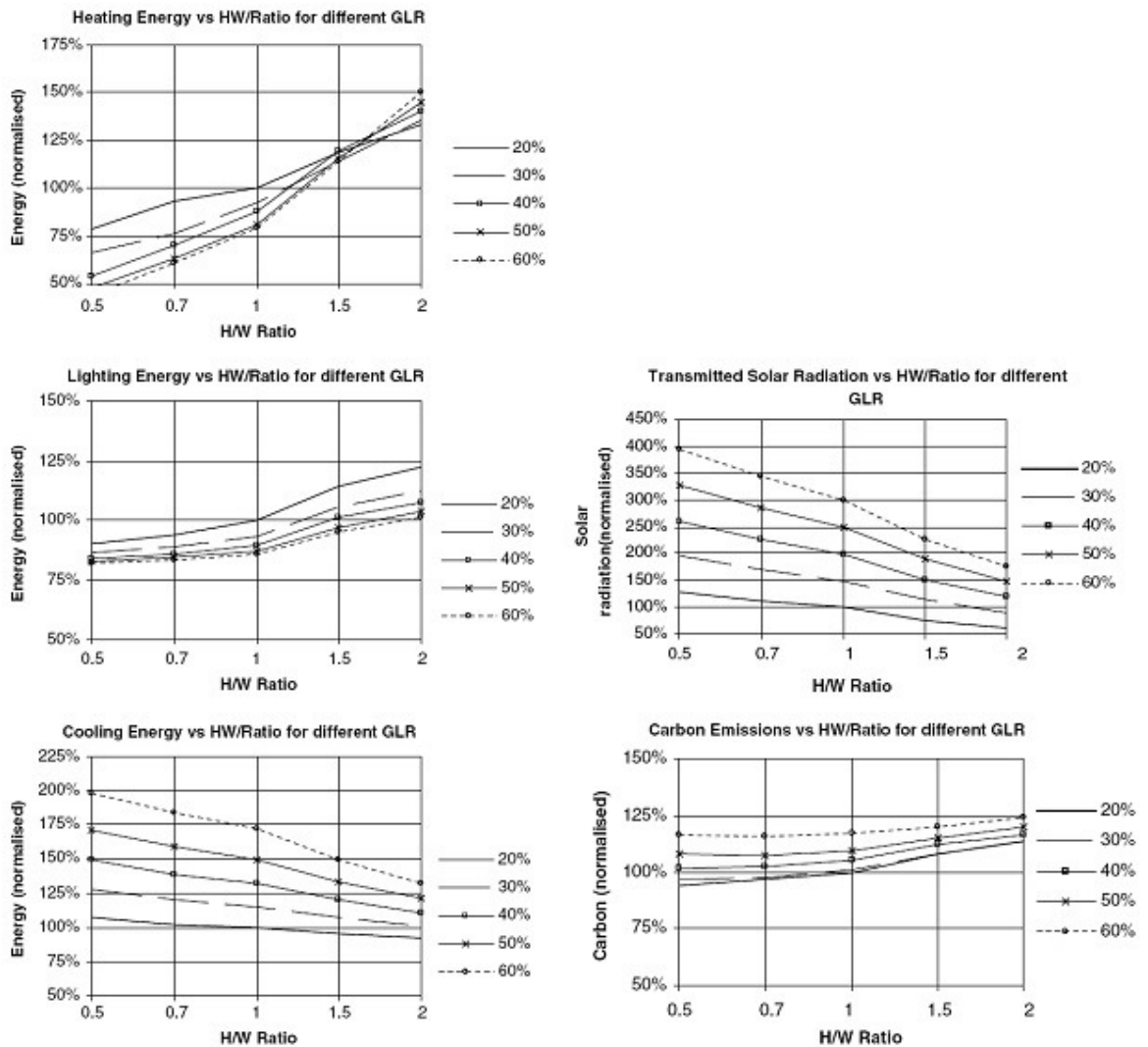
[8] Nel sito www.suntool.net sono disponibili le documentazioni relative a varie applicazioni, qui cito solamente quelle presenti nell'articolo di riferimento.

Energy use (left), transmitted solar irradiation and Carbon emissions (right), normalised with respect to $h/w = 1$ and a 20% glazing ratio.

Fig. n°5.12, alcuni output grafici del legame tra il rapporto superficie finestrata/larghezza strada ed il consumo energetico

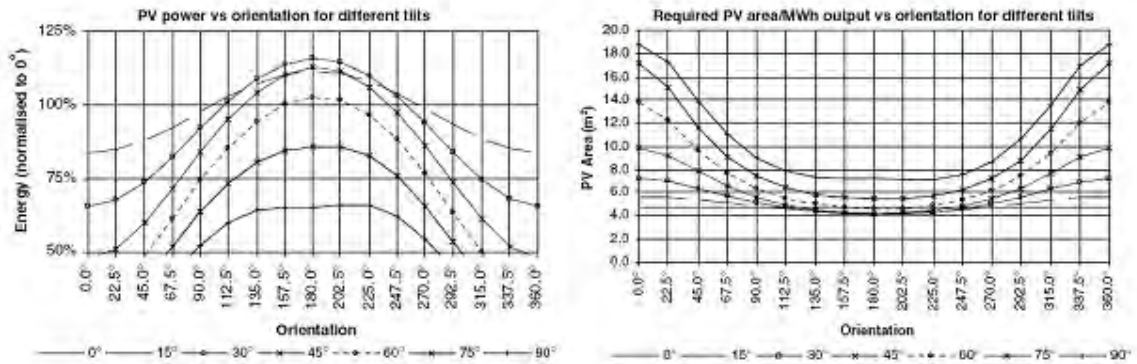
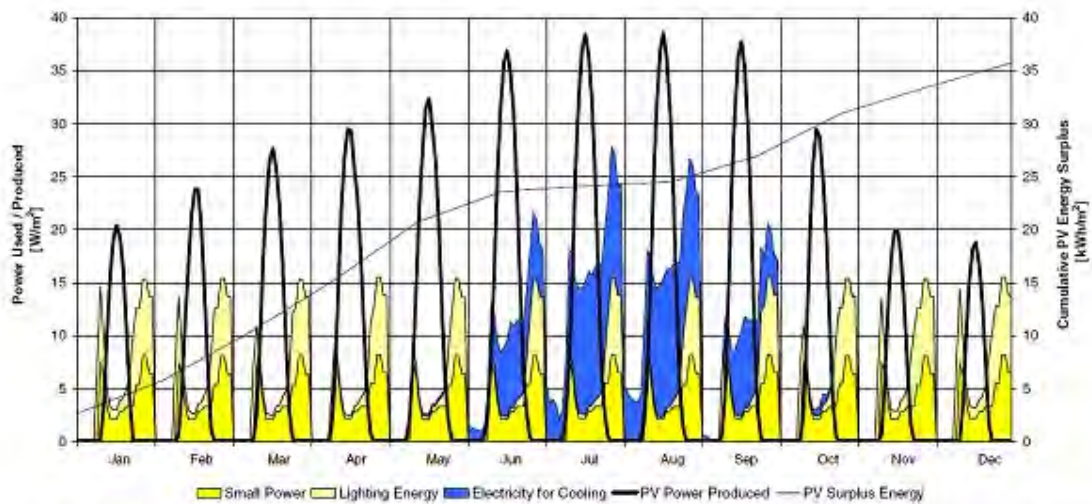
Layout of case study site (left), with facades falsecoloured according to incident annual solar irradiation (right).

Annual energy production relative to that of a horizontal collector (left) and required installed area to completely offset demand (right) of PV as a function of collector tilt and orientation.

Monthly mean daily profiles of end use electrical power consumption (with stochastic models disabled), PV energy production and cumulative excess of energy production.

Fig. 5.13, alcuni output dello studio per l'inserimento di impianti fotovoltaici nel quartiere olimpico

5.4.3 *CitySim: comprehensive micro-simulation of resource flows for sustainable urban planning.*

In sostanziale prosecuzione con l'esperienza di SUNtool, CitySim (ROBINSON 2009a 2009b, PAGE 2007, KÄMPF 2007, RASHEED 2009) ne mantiene sostanzialmente la stessa struttura (fig. n°5.14) potenziandone il motore di calcolo, l'interfaccia di dialogo e la capacità di interagire con file di formati differenti: è in grado di accettare come input per la definizione della geometrie degli edifici sia file DXF o xml con le coordinate dei vertici delgi edifici, oppure è possibile utilizzare l'interfaccia grafica per disegnare speditamente le geometrie all'interno del software stesso. I dati riguardo a materiali, strutture ed impianti sono organizzati per tipologia edilizia e per anno di costruzione; l'input ancora una volta potrà essere fornito con un file xml, opportunamente compilato, o con un Data Base. Il nuovo potenziato algoritmo di calcolo termico permette di effettuare il calcolo in regime dinamico per più zone termiche in ogni edificio, che verranno impostate in maniera manuale tramite l'interfaccia grafica. Parimenti si dovrà assegnare manualmente ad ogni volume la tipologia edilizia e l'anno di costruzione al fine di legare le caratteristiche fisiche dell'involucro ed il rendimento degli impianti a quelle geometriche spaziali degli edifici. L'ambizioso scopo del progetto è quello di integrare in un unico strumento più modelli dettagliati riguardo i flussi di energia in ambito urbano. Attualmente è in via di definizione l'integrazione tra il modello comportamentale per la stima dell'influenza della componente umana nel fabbisogno energetico degli edifici, ed un modello degli spostamenti in ambito urbano (MATSim-T, 1990, www.matsim.org/). Come nel caso precedente lo strumento incorpora anche la dimensione spaziale dei dati di input e dei risultati permettendo la rapida visualizzazione cartografica e tridimensionale direttamente nella sua interfaccia grafica (fig. n°5.15).

Lo strumento incorpora procedure di calcolo molto raffinate che permettono di definire i fabbisogni ed i consumi del patrimonio edificato con il dettaglio di una simulazione dinamica generalmente applicata ad un singolo edificio, la precisione dipendente principalmente dall'accuratezza dei dati di input. Ciò rende CitySim uno tra i più completi strumenti bottom-up di estrazione ingegneristica per il calcolo delle prestazioni energetiche al livello urbano, ma la complessità e la numerosità dei dati di input non ne permetteono un facile utilizzo. Inoltre sembrerebbe fuori luogo l'uso di raffinati modelli comportamentali quando i dati relativi alle strutture ed ai materiali sono di fatto ipotizzati per tipologia e perciò, pur derivando da accurate campagne per la raccolta dei dati, essi contengono intrinsecamente alti gradi di arbitrarietà ed approssimazione. Un altro limite è ancora la mancanza di un algoritmo per la valutazione comparata tra scenari su base economica ed ambientale e, per quanto la sua dimensione spaziale lo renda particolarmente adatto a simulazioni a scala urbana e sub urbana, l'intrinseca difficoltà del software di interagire con gli altri tematismi territoriali generalmente trattati con metodi GIS, ne limita l'utilizzo.

Scene file (XML)
Climate file (ascii)
Constructions
Behavioural profiles
HVAC characteristics
ECS characteristics
Fuel characteristics
CitySim scene creation
Rad model pre-process
Rad model
Thermal model
HVAC models
ECS models
Write results
Agent population
Behavioural models
Transport (presence) sim.
Water model

A Simplified Radiosity Algorithm for general urban radiation exchange (D. Robinson 2005)

Kämpf, J., Robinson, D.(2007), A simplified thermal model to support analysis of urban resource flows.

Multi-Agent Transport Simulation Toolkit MATSim-T (1990).

Metodo stocastico per la previsione dei comportamenti degli occupanti (J.Page, D. Robinson , 2007)

Presenza, finestre, illuminazione, schermature solari , elettrodomestici, rifiuti

Fig. n°5.14, struttura di CitySim, in alto i dati di input: dati sugli edifici, profili degli occupanti, caratteristiche degli impianti e dei combustibili utilizzabili.

CitySim, by LESO-PB, EPFL, SWITZERLAND
File Edit
Location Default Model Simulations
Selection Creation Modification Computation
Surface parameters Building parameters
Target temperature range Tmax 26 Tmin 21
Building physical paramters
Infiltration rate : 0,4
HVAC system
Supplies temperatures
max 35 min 30
Evaporating cooling device
Humidifier
Coil efficiency 1
hydrothermal wheel 0
set Heat energy convert... Boiler
set Cool energy converter HeatPump
Tanks

Tank	Volum	phi	rho	Cp	Tmin	Tmax
Heat	1	20	1 000	4 180	20	35
Cool	1	20	1 000	4 180	5	20

Apply Reset Cancel

Step del metodo

Dati climatici (asci)

Scelta dei dati di default per tipologia edilizia

Definizione della forma 3D
Inserimento degli impianti
Raffinamento dei dati dell'edificio

Trasferimento dei dati in xml e simulazione dei flussi energetici orari in C++ solver

Limiti
Dati di input complicati e numerosissimi
Il rapporto con altri tematismi territoriali è complicato
Non comprende parametri economici
Non appare direttamente legato alle politiche di incentivazione

Fig. n°5.15, l'interfaccia di CitySim si notano i volumi semplificati degli edifici e la finestra per l'assegnazione delle caratteristiche dei volumi (zone termiche, tipologie edilizie, anno di costruzione) in basso una visualizzazione dei diversi livelli di irraggiamento solare nelle superfici.

5.4.4 Covenant of Major, ECOregion

ECORegion è un software nato in Svizzera, e in rapida diffusione in Germania[9], che permette l'elaborazione di bilanci di CO_2 per territori sub-nazionali. Il Patto dei Sindaci, programma della Commissione Europea importante e altamente visibile per la riduzione dei gas serra attraverso le attività degli Enti locali e territoriali, ha adottato questo software come strumento standard per la definizione del Bilancio Energetico Comunale funzionale alla redazione del Piano di Azione per l'Energia Sostenibile (PAES)[10]. Il software, disponibile on-line, crea il bilancio energetico dell'area di studio combinando dati di estrazione bottom-up, calcolati o reperiti in proprio dagli utenti in loco, con dati provenienti da data base ad ampia scala (fig. n°12). *Con questo metodo si realizza uno strumento flessibile che approssima e integra i dati mancanti e che in definitiva permette di conoscere e monitorare l'andamento delle emissioni di CO2 dovute ai consumi energetici del territorio di riferimento* (SCHIBEL, 2009). I consumi e le relative emissioni sono suddivise in tre macro settori: "Economia", "Residenziale", "Settore pubblico" ricostruiti da una serie storica dal 1990-2007, con la possibilità di sviluppare scenari per gli anni futuri. Naturalmente i risultati possono essere interrogati con una gran quantità di filtri e differenti indicatori al fine di ottenere rappresentazioni grafiche personalizzate efficaci e comunicative (fig. n°13).

L'ambito ottimale al quale lo strumento si rivolge sembra essere quello comunale (SCHIBEL, 2009) dove sono distinguibili i seguenti punti fermi:

- creare uno strumento capace di colmare, con un approccio top-down, la mancanza dei dati necessari a implementare il bilancio a livello locale;
- creare uno strumento utile al monitoraggio e non solo per un bilancio una tantum, dotato quindi di una forte caratteristica di replicabilità negli anni;
- creare uno strumento leggero, a basso costo, che coinvolga più che altro risorse interne all'ente, viste le limitate disponibilità di risorse da destinare alla redazione di un bilancio di questo tipo;
- assunzione di responsabilità da parte dell'amministrazione e degli attori istituzionali nella redazione del bilancio energetico.

Lo strumento potrebbe permettere la definizione di uno standard a livello comunitario per la redazione dei BEC a livello comunale; accanto ai suoi pregi di semplicità ed economicità diventa però evidente la mancanza della dimensione spaziale, che costituisce il suo principale limite per un uso riferito ai processi di trasformazione della città. Lo strumento non è in grado esplicitare le differenze tra le parti di una stessa città, perciò non è adatto alla simulazione degli effetti di processi di trasformazione in chiave di miglioramento dell'efficienza energetica, o meglio, ne potrà valutare solo il suo contributo al bilancio energetico totale comunale senza la necessaria articolazione spaziale dell'informazione.

---

[9] L'ALLEANZA PER IL CLIMA (WWW.CLIMATEALLIANCE.IT) HA PROPOSTO L'UTILIZZO DEL SOFTWARE SVILUPPATO DALLA ECOSPEED (WWW.ECOSPEED.CH) AD UN GRUPPO PILOTA italiano: Comuni di Bolzano, Jesi, Modena, Reggio Emilia e Schio; Province di Ancona e Roma e Regione Emilia Romagna.

[10] Si tratta dello strumento attuativo proposto dal Patto dei Sindaci (Covenant of Major) per il perseguimento della sostenibilità energetica urbana (http://www.pattodeisindaci.eu/)

Covenant of mayors

Climate Alliance
Adottano Ecoregion come

Svizzera (2005)
Germania (2008)

Italia (gruppo pilota 01/2009)
6 Comuni / 2 Province / 1 regione
ECORegion IT 04/2010

ISTAT

- Bottom-up
- Top-down

Consumi elettrici

Vendite di combustibili

Dati comunali/territoriali
Consumi energetici
secondo attività
Fattori di emissione
Dati mancanti

Dati approssimativi consumo energetico locale

Bilancio CO_2

Nazione/Regione
Consumo energetico nazionale/regionale
secondo vettore energetico, attività
Struttura nazionale/ regionale
occupati / abitanti

Comune/territorio
Indici nazionali
Consumo energetico procapite, vettore energetico, attività
Struttura locale
occupati / abitanti

Fig. n°5.16, schema di funzionamento di ECOregion (SCHIBEL, 2009)

Bilancio attuale

Procedura standard

Dati di semplice immissione

Software on-line

per abitante del territorio

Energia elettrica, Olio combustibile EL, Benzina, Diesel, Cherosene, Metano, Teleriscaldamento, Biomassa, Carbone, Geotermia, Collettori solari, Biogas, Rifiuti, GPL, Olio vegetale, Biodiesel, Lignite, Carbone fossile

Limiti
E un mero bilancio

Non ha riferimenti spaziali interni all'ambito di studio

Fig. n°5.17, alcuni tipici grafici di output di ECOregion (SCHIBEL, 2009)

5.4.5 Progetto TABULA (*Typology Approach for BUiLding stock energy Assessment*)

L'obiettivo del progetto[11] è creare un data base, su supporto web, delle tipologie edilizie residenziali europee a partire dall'elaborazione di un set di edifici-tipo rappresentativi del parco edilizio nazionale di ciascun stato europeo. Gli edifici-tipo saranno poi utilizzati per documentare la prestazione energetica del parco edilizio residenziale esistente e per mostrare le potenzialità di risparmio energetico, conseguenti a possibili interventi di riqualificazione energetica dell'involucro edilizio e dell'impianto termico (CORRADO 2010). Lo studio si compone in una fase di definizione delle tipologie edilizie classificate per anno di costruzione e numero di unità immobiliari (fig. n°5.18) sulle quali calcolare (con le EN ISO 13790, ed in Italia con la UNI 11300) il fabbisogno netto e di EP attuali. Poiché sarebbe impossibile valutare tutte le possibili combinazioni di tecnologie di riqualificazione energetica, si definiscono due scenari: uno basato sulla minimizzazione dei costi di intervento ed un altro con l'uso delle migliori tecnologie disponibili che massimizzino il risparmio energetico ed il comfort abitativo. A questo punto in base ai dati statistici nazionali (in Italia il Censimento della Popolazione e delle Abitazioni, ISTAT 2001) si generalizzerà il risultato delle tipologie alla scala nazionale ottenendo i consumi totali e le potenzialità di risparmio energetico massimo e minimo di ogni stato o regione. Le operazioni di calcolo e di implementazione delle tipologie edilizie sono state svolte su fogli excel, impostati in maniera comune in ogni nazione per garantire l'assoluta comparabilità del data base e dei risultati[12]. I fogli di calcolo all'interno dello strumento sono riconducibili alle seguenti macroaree: involucro edilizio, impianto di riscaldamento, impianto di produzione di acqua calda sanitaria (fig. n°5.19) .

Questo strumento fortemente basato su un approccio tipologico è adatto ad un calcolo dei fabbisogni e dei consumi ad una scala nazionale o al massimo regionale; mostra però come la tipologia edilizia possa essere efficacemente utilizzata per la stima dei fabbisogni netti in mancanza di dati di dettaglio. In realtà anche se i parametri relativi agli elementi costruttivi ed i materiali sono abbastanza costanti e riconoscibili per anno di costruzione, la geometria dell'edificio è difficilmente inquadrabile in un discorso tipologico in quanto, in ambito urbano, l'articolazione e l'orientamento delle superfici disperdenti influisce sui fabbisogni al pari delle caratteristiche fisiche.

[11] Il progetto è inserito nell'ambito del programma europeo "*Intelligent Energy Europe"* (giugno 2009 – maggio 2012),

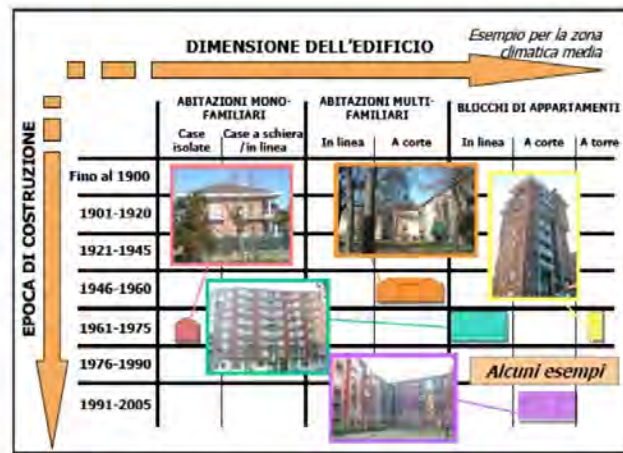
[12] TABULA prevede la partecipazione di tredici Paesi europei: Germania (coordinatore), Grecia, Slovenia, Italia, Francia, Irlanda, Belgio, Polonia, Austria, Bulgaria, Svezia, Repubblica Ceca e Danimarca

1_Raccolta informazioni sulle tipologie nazionali, in base alla zona climatica.

2_Frequenza delle tipologie nel parco nazionale in base all'anno di costruzione e il numero di unità abitative (ISTAT).

3_Calcolo delle prestazioni energetiche in base alle EN ISO 13790 (in italia UNI 11300 TS)

4_Calcolo delle prestazioni energetiche per ristrutturazioni con tecnologie consolidate al fine di ottenere prestazioni minime

5_Calcolo delle prestazioni energetiche per ristrutturazione con le migliori tecnologie consolidate al fine di ottenere le massime

DIMENSIONE DELL'EDIFICIO
Esempio per la zona climatica media
EPOCA DI COSTRUZIONE
ABITAZIONI MONO-FAMILIARI: Case isolate | Case a schiera /in linea
ABITAZIONI MULTI-FAMILIARI: In linea | A corte
BLOCCHI DI APPARTAMENTI: In linea | A corte | A torre
Fino al 1900
1901-1920
1921-1945
1946-1960
1961-1975
1976-1990
1991-2005
Alcuni esempi

Webtool

VALUTAZIONE DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA DEL PARCO EDILIZIO NAZIONALE

Excel workbook "TABULA"

Fig. n°5.18, schema del progetto TABULA, le fasi e l'approccio tipologico

INVOLUCRO EDILIZIO

Tab.Building.Constr – descrizione e trasmittanze termiche degli elementi costruttivi (coperture, pareti, serramenti, pavimenti)

IMPIANTO CLIMATIZZAZIONE INVERNALE

Tab.System.HG – descrizione ed efficienze dei generatori di calore degli impianti di riscaldamento

Tab.System.HS – descrizione e perdite specifiche di energia termica del sottosistema di accumulo

Tab.System.HD – descrizione e perdite specifiche di energia termica del sottosistema di distribuzione

IMPIANTO ACQUA CALDA SANITARIA

Tab.System.WG – descrizione ed efficienze dei generatori di calore degli impianti di ACS

Tab.System.WS – descrizione e perdite specifiche di energia termica del sottosistema di accumulo di ACS

Tab.System.WD – descrizione e perdite specifiche di energia termica della distribuzione dell'ACS

Tab.Building.Type – serie di dati relativi ai tipi edilizi nazionali

Tab.Building.Measure – definizione nazionale delle misure di isolamento e resistenza termica

Tab.System.H.Type – serie di dati relativi ai tipi di impianti di riscaldamento nazionali

Tab.System.W.Type – serie di dati relativi ai tipi di impianti di ACS nazionali

Calc.Building.Set – calcolo del fabbisogno di energia netta per il riscaldamento (ogni riga corrisponde ad un edificio)

Calc.System.Set – calcolo del fabbisogno di energia erogata (ogni riga corrisponde ad un impianto termico)

Calc.Demo.Refurbish – calcolo dei valori di trasmittanza termica in caso di misure di isolamento termico (1 edificio)

Calc.Demo.Building – calcolo del fabbisogno di energia netta per il riscaldamento, in seguito all'applicazione della misura (1 edificio)

Calc.Demo.System – calcolo del fabbisogno di energia erogata (1 impianto)

Fig. n°5.19, schema dei fogli excel divisi per involucro, impianto di riscaldamento e di ACS

5.4.6 Alcuni casi di studio nazionali

In questo primo caso di studio (FABBRI 2011) si propone l'uso di uno strumento GIS per la descrizione qualitativa del fabbisogno del patrimonio edificato con un approccio bottom-up, partendo da dati già posseduti dall'amministrazione comunale di Ferrara. Lo strumento GIS proposto da una rappresentazione spaziale al data base SACE[13] della Regione Emilia Romagna (fig. n°5.20), al quale le CE devono essere inviate per essere valide (fig. n°5.21), permettendo di esplorare in maniera specifica per parti di città le relazioni che legano i consumi alle caratteristiche dell'edificato (fig. n°5.21 e n°5.20). In questo caso il GIS non è utilizzato per la definizione analitica del fabbisogno complessivo del patrimonio edificato alla scala urbana, anche se, dopo aver collezionato un numero statisticamente significativo di osservazioni, si potrebbero usare metodi di regressione (lineare o multivariata) per azzardare una generalizzazione dei risultati alla scala comunale. Il GIS viene utilizzato principalmente per facilitare la rappresentazione qualitativa del fenomeno; più il Data Base SACE si popolerà di informazioni sul patrimonio edificato, più il GIS sarà in grado di fornire efficaci interpretazioni della realtà.

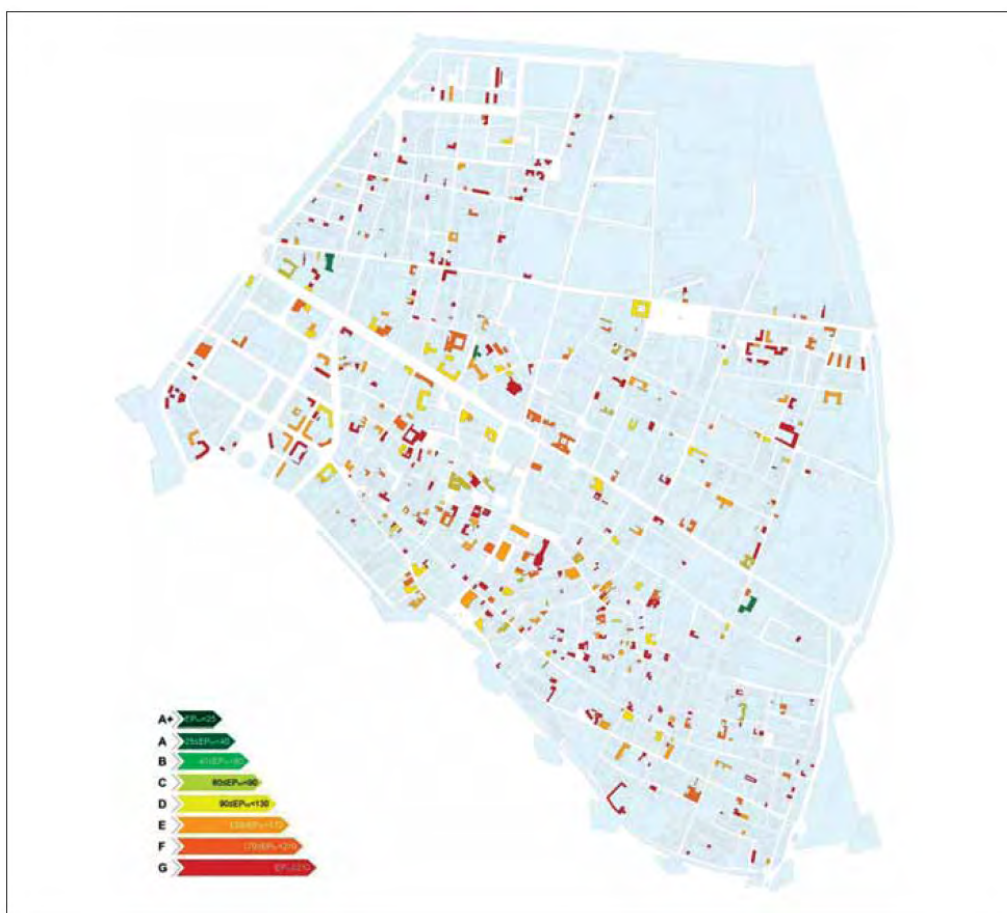



Fig. n°5.20 visualizzazione spaziale delle CE presenti nel SACE (FABBRI 2011)

[13] La regione Emilia Romagna DAL 156/2008 modificata dal DGR 1362/2010 e dal 1°gennaio 2009, ha attivato il Sistema di Accreditamento e Certificazione Energetica (SACE), per la compilazione, emissione e trasmissione degli Attestati di Certificazione Energetica relativi alle singole unità immobiliari. Il sistema contiene sia i dati di partenza relativi agli involucri ed agli impianti che i risultati del calcolo della CE. ehttp://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/energia/sezioni_laterali/sezione_1/Certificazione_energetica_degli_edifici.htm

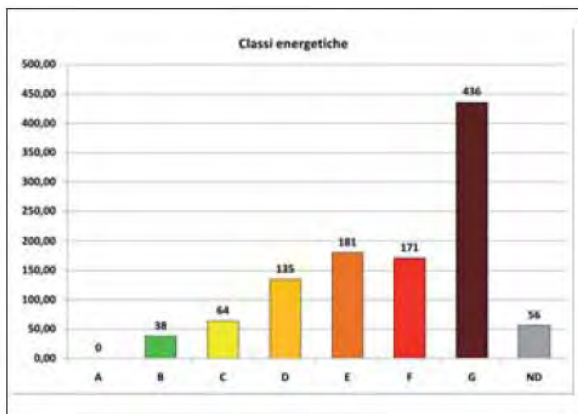



Fig. 5 - *Numero dei certificati per Classi Energetiche.*

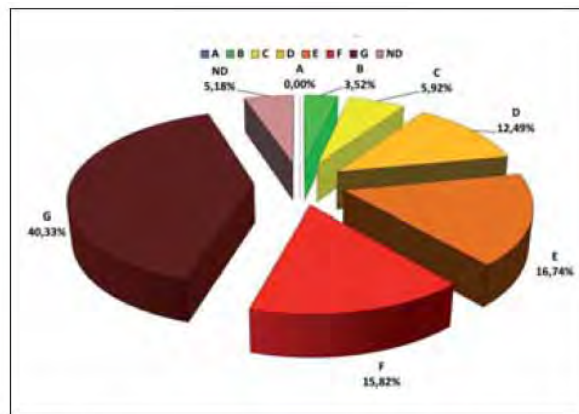



Fig. 6 - *Distribuzione percentuale dei certificati per Classi Energetiche.*

fig. n°5.21, alcune interrogazioni del data base SACE (FABBRI 2011).

In un altro caso di studio (MASSIMO 2008) grazie allo strumento GIS, si è integrata la dimensione della sostenibilità all'interno della valutazione comparata delle ipotesi di recupero del quartiere storico *"Quartiere Latino"* di Reggio Calabria. Partendo dal rilievo 3D dettagliato del quartiere, dove è inserita anche una precisa mappatura del degrado delle superfici e degli immobili, si è impostato in ambiente GIS un sistema per il Computo Metrico Grafico (CMG) delle varie ipotesi di intervento (fig. n°5.22). Si sono poi costruiti due scenari di recupero: uno "tradizionale" e l'altro "sostenibile", ossia che impieghi materiali e scelte tecniche orientate alla diminuzione del fabbisogno energetico.

La flessibilità dello strumento ha permesso di valutare con precisione i costi delle due soluzioni in modo da impostare una valutazione economica dell'investimento nel medio lungo periodo che ha premiato le ipotesi "sostenibili"; il calcolo del fabbisogno energetico è stato svolto però solo per alcuni edifici campione ed in maniera separata dal CMG.

fig. n°5.22, Alcune schermate del Computo metrico grafico implementato in ambiente GIS

Una terza esperienza (BARELLI 2009), probabilmente la più interessante riguardo allo strumento sviluppato, mostra una integrazione tra un WebGis e la metodologia DOCET per il calcolo del fabbisogni netti e di EP per la CE. L'Azienda Territoriale per la Casa (ATC) della provincia di Torino (ex IACP)[14] dispone di un complesso ed articolato WebGis dedicato alla gestione tecnica del proprio patrimonio, che integra la gestione delle sue componenti fisiche (ovvero gli edifici e le relative pertinenze) con quelle umane, ovvero gli inquilini e le problematiche manutentive ad essi correlate. Partendo da questo strumento si è integrato il motore di calcolo di DOCET sviluppando apposite interfacce di immissione dati disponibili direttamente on-line (fig n°5.23). Un apposito pulsante sulla home page del SIT, accessibile solo agli utenti registrati, attiva il modulo energetico (ESAM) e tutte le annesse funzionalità che permettono di inserire il dato sia per l'edificio selezionato che per lotto o anno di costruzione. Questa possibilità di definizione multipla dei dati ha snellito in maniera sostanziale le operazioni di immissione dei dati senza generare grossi errori in quanto è noto che i complessi realizzati con la stessa concessione utilizzano materiali e soluzioni costruttive identiche (BARELLI 2009). Le peculiarità dello strumento WebGis permettono poi la visualizzazione dei risultati direttamente on line e con una rappresentazione della classe energetica raggiunta (fig. n°5.24), inoltre l'assoluta congruenza delle caratteristiche di ESAM con DOCET permette anche si simulare degli scenari progettuali fornendo dei paramenti di costo e di tempo di ritorno.

[14] Con i suoi oltre 33.000 alloggi, raggruppati in più di 1.000 edifici Si tratta di uno dei maggiori enti pubblici italiani preposti alla gestione dell'edilizia popolare (BARELLI 2009)

L'integrazione dei due software (WebGIs e DOCET) genera uno strumento capace di rappresentare spazialmente i risultati di una metodologia di calcolo energetico studiata per la scala del singolo edificio. Inoltre fornisce un valido strumento per lo studio e la condivisione di scenari progettuali inerenti tutto il patrimonio ACT. Ma nel caso di una analisi estesa all'ambito urbano, ossia a tutti gli edifici della città, l'immissione dei dati geometrici e fisici delle strutture, per quanto facilitata da possibili raggruppamenti per tipologia o anno di costruzione, non può essere effettuata in maniera completamente manuale, saranno necessari dei tool capaci di leggerle direttamente dalla cartografia disponibile.

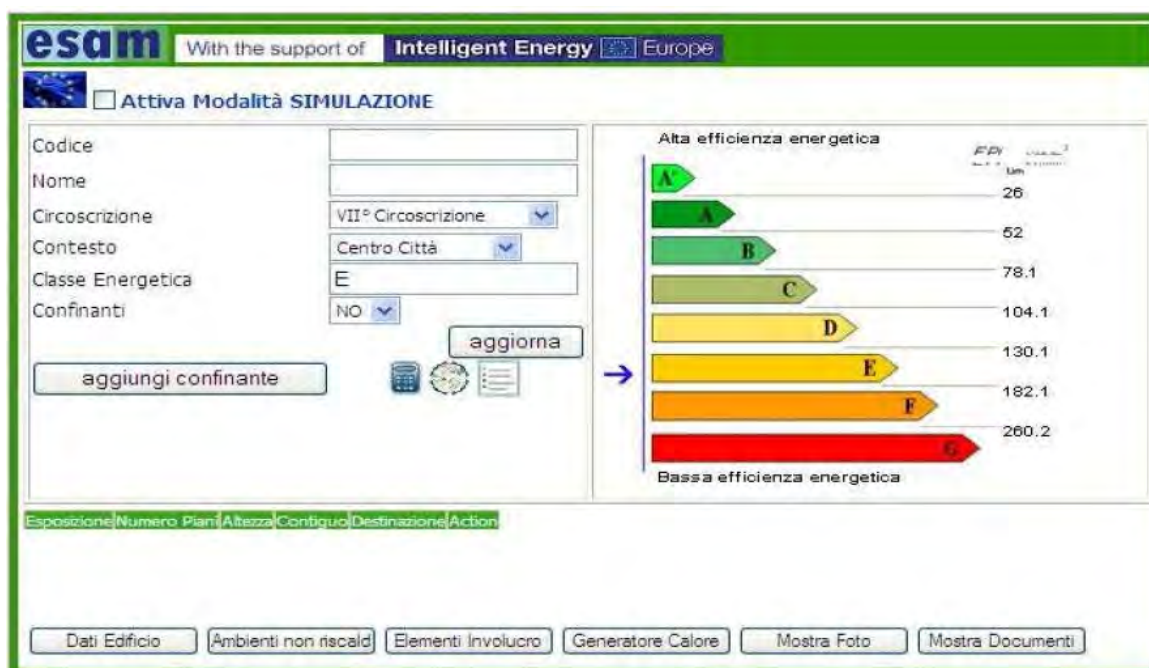



Fig. n°5.23 Pagina di immissione dei dati, assolutamente congruente con quella di DOCET

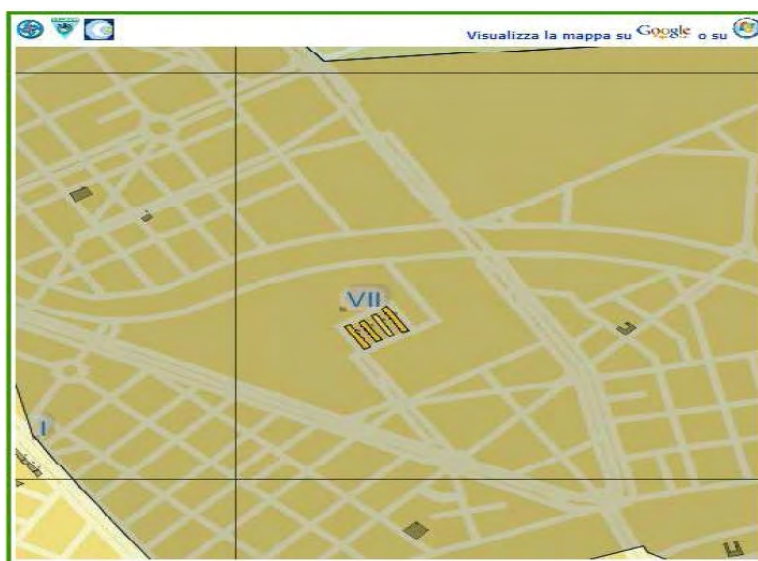



Fig. n°5.24, visualizzazione web di alcuni edifici del sistema informativo

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

A.G. Entrop, H.J.H. Brouwers, A.H.M.E. Reinders (2009); *Evaluation of energy performance indicators and financial aspects of Energy saving techniques in residential real estate;* Energy and Buildings xxx (2009) xxx–xxx articolo in stampa

Carlo Ratti, Nick Baker, Koen Steemers (2005); *Energy consumption and urban texture;* Energy and Buildings 37 (2005) 762–776

Christina Diakaki, Evangelos Grigoroudis, Dionyssia Kolokotsa,Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings; Energy and Buildings 40 (2008) 1747–1754

D. Robinson (2009b), F. Haldi, J. Kämpf, P. Leroux, D. Perez, A. Rasheed and U. Wilke (2009); *From the neighbourhood to the city : resource flow modelling for urban sustainability*.CISBAT 2009, Lausanne, September 2-3

D. Robinson, N. Campbell, W. Gaiser, K. Kabel, A. Le-Mouel, N. Morel, J. Page, S. Stankovic, A. Stone; *SUNtool – A new modelling paradigm for simulating and optimising urban sustainability*; Solar Energy 81 (2007) 1196–1211

D. Robinson, N. Campbell, W. Gaiser, K. Kabel, A. Le-Mouel, N. Morel, J. Page, S. Stankovic, A. Stone; SUNtool – A new modelling paradigm for simulating and optimising urban sustainability; Solar Energy 81 (2007) 1196–1211

Darren Robinson (2009a), Haldi, F, Kämpf, J., Leroux, P., Perez, D., Rasheed, A., Wilke, U (2009); *CitySim: comprehensive micro-simulation of resource flows for sustainable urban planning;* Building Simulation *Eleventh International IBPSA Conference,* Glasgow, Scotland July 27-30, 2009

De´que´, F., Olivier, F., Poblador, A.M., 2000. Grey boxes used to represent buildings with a minimum number of geometric and thermal parameters. Energy and Buildings 31 (1), 29–35

Domenico Enrico Massimo (2008), Antonino Barbalace, Daniela Boncaldo, Antonia Rita Castagnella, Maria Rosaria Giuffré, Mariangela Musolino, Roberta Plutino, Michelangela Vescio (2008); *Sostenibilità nella conservazione urbana e strumenti GIS*; 11a Conferenza Nazionale Utenti ESRI.Italia Gis People for People Roma, 21-22.05.2008

Gadsden, S., Rylatt, M., Lomas, K., Robinson, D; *Energy efficiency and solar energy in urban planning: a GIS-based decision support prototype for the domestic sector;* Proceeding of PLEA 2000, Cambridge, UK, pp. 672–677.

Guido Giulio Barelli, Alessandro Boschi, Ferruccio Doglione, Davide Biasiol; *Gis e decision support modulo di calcolo del fabbisogno energetico per la “ATC” di torino*; Articolo estratto da: GEOforUS Geography & Technology Network, giugno 2009; www.geoforus.it

Haas R, Schipper L. *Residential energy demand in OECD-countries and the role of irreversible efficiency improvements*. Energy Economics 1998;20(4):421–42

Issa Jaffal, Christian Inard, Christian Ghiaus (2009); *Fast method to predict building heating demand based on the design of experiments*; Energy and Buildings 41 (2009) 669–677

Kämpf, J., Robinson, D. (2007), *A simplified thermal model to support analysis of urban resource flows*, Energy and Buildings 39(4), p445-453

Karl-Ludwig Schibel, Maurizio Zara (2009); ECO territori; articolo in rivista QualEnergia pag 70-74 n° novembre/dicembre 2009; http://qualenergia.it/node/8582

Kristian Fabbri - Marco Zuppiroli (2011) *La prestazione energetica con gli strumenti GIS*; PONTE PROGETTARE ENERGIA n. 3-2011 pag 6-15, DEI tipografia del genio civile; http://www.build.it/ponte.asp

Lukas G. Swan, V.Ismet Urgursal (2009), *Modeling of end use Energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques*, Renewable & Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 1819-1835.

Mark Rylatt, Stuart Gadsden, Kevin Lomas (2001); *GIS-based decision support for solar energy planning in urban environments*; Computers Environment and Urban Systems 25 (2001) 579-603

Baggio P., Cappelletti F., A. Gasparella, P. Romagnoni (2008), *Il calcolo della prestazione energetica degli edifici. Gli esiti di un confronto*, Convegno AICARR: Riduzione dei fabbisogni, recupero di efficienza e fonti rinnovabili per il risparmio energetico nel settore residenziale, Rubano (PD), Giugno 2008

Page, J., Robinson, D., Morel, N., Scartezzini, J.-L. (2007), *A generalised stochastic model for the prediction of occupant presence*, Energy and Buildings, 40(2) p83-98.

R.B.Hiremath et al (2007), *Decentralized energy planning; modeling and application-a review*; Renewable & Sustainable Energy Reviews 11 (2007) 729-752.

Rasheed A. and Robinson D. (2009) MULTISCALE MODELLING OF URBAN CLIMATE. Eleventh International IBPSA Conference, Glasgow, Scottland, July 27-30, 2009.

Robinson, D., Stone, A. (2006), *Internal illumination prediction based on a simplified radiosity algorithm*, Solar Energy, 80(3), p260-267

Robinson, D., Stone, A., 2005. A *simplified radiosity algorithm for general urban radiation exchange*. Building Services Engineering Research and Technology 26 (4), 271–284.

Saidur R, Masjuki HH, Jamaluddin MY. *An application of energy and exergy analysis in residential sector of Malaysia*. Energy Policy 2007;35(2):1050–63

Shem Heiple, David J. Sailor; *Using building energy simulation and geospatial modeling techniques to determine high resolution building sector energy consumption profiles*; Energy and Buildings 40 (2008) 1426–1436

Stuart Gadsden, Mark Rylatt, Kevin Lomas, Darren Robinson; *Predicting the urban solar fraction: a methodology for energy advisers and planners based on GIS*; Energy and Buildings 35 (2003) 37–48

Stuart Gadsden, Mark Rylatt, Kevin Lomas; *Putting solar energy on the urban map: a new GIS-based approach for dwellings*; Solar Energy 74 (2003) 397–407

Vincenzo Corrado, Stefano Paolo Corgnati, Ilaria Ballarini; *l'approccio tipologico per la valutazione della prestazione energetica del parco edilizio nazionale: il progetto di ricerca tabula;* 65° Congresso Nazionale ATI – Domus de Maria (CA), 13-17 Settembre 2010

Capitolo 6

Metodologia: definizione dello Stato Attuale

6.1 Obiettivo e contenuti

Il cuore della metodologia che la ricerca sviluppa è la definizione dello "*stato attuale"* tramite una serie di indicatori che possano contribuire alla valutazione della fattibilità economica e tecnica di politiche urbane inerenti l'efficienza energetica e le FER. L'oggetto di questa ricerca è la costruzione di uno strumento per la definizione dello *Stato Attuale*, utilizzando gli strumenti presenti in una comune piattaforma GIS (ESRI, ArcGIS 10) e dati facilmente reperibili alla scala urbana. Anche se l'esatta composizione del set di indicatori che definisce lo Stato Attuale sarà in funzione del contesto preso in considerazione, alcuni valori, riferiti alle prestazioni energetiche del patrimonio edificato, possono essere considerati come universalmente riconosciuti ed accettati. Lo strumento servirà ad esplicitare le relazioni (di tipo analitico nel nostro caso) tra i consumi e le emissioni del patrimonio edificato residenziale e le sue caratteristiche tipologiche e spaziali.

Questo capitolo affronta il punto principale della tesi ossia lo sviluppo di una serie di toolset "*Residential Energy Tools*" (RET), in ambiente GIS ERSI, che, partendo da dati di ingresso già disponibili, consentono di effettuare alla scala urbana la valutazione del fabbisogno energetico netto dell'involucro edilizio ed il calcolo della Energia Primaria in regime invernale ed estivo secondo le modalità "standard" proposte dalla norma UNI 11300[1]. Si partirà mostrando lo schema generale della metodologia e poi si affronteranno nel dettaglio tutte le parti del toolbox seguendo l'ordine con il quale il calcolo deve essere eseguito.

[1] Si tratta della specifica tecnica italiana per il calcolo delle prestazioni termiche degli edifici che utilizza alcune parti della UNI EN ISO 13790:2008, di seguito denominata "norma". La parte 1 è dedicata ai calcoli per la definizione del fabbisogno netto dell'involucro per riscaldamento e raffrescamento; la parte 2 è dedicata alla determinazione del fabbisogno per Acqua Calda Sanitaria (ACS) ed al calcolo dei rendimenti medi stagionali nel caso di impianti a caldaia; la parte 3, non ancora inserita tra i calcoli richiesti per legge, è dedicata ai sistemi a Pompa di Calore; la parte 4, non ancora rilasciata, sarà incentrata sulla determinazione dei calcoli standard per gli impianti di produzione da Fonti Energia Rinnovabile (FER) in micro generazione.

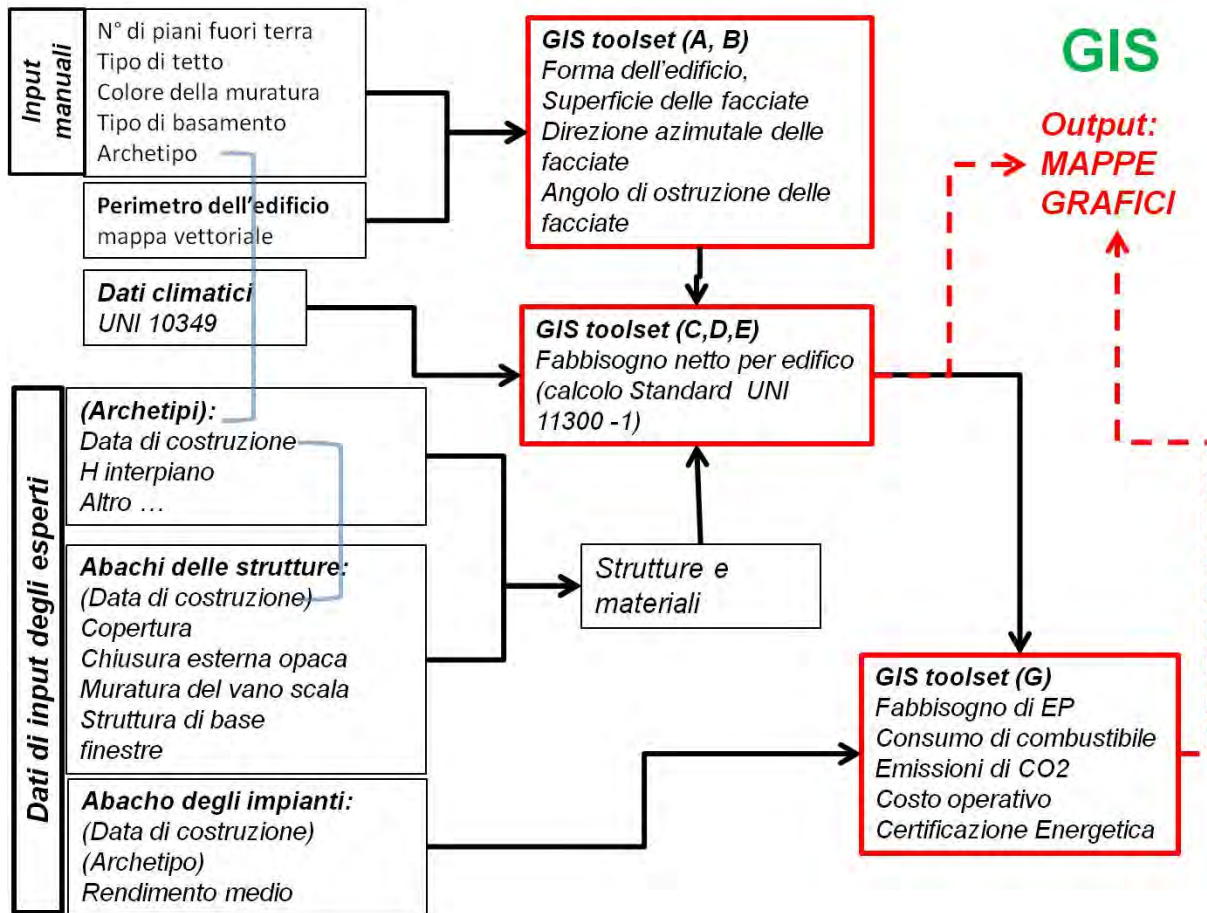



Fig. n°6.1, Framework della metodologia e toolbox, bordati in nero i dati di input, in rosso i toolset. Tra parentesi le chiavi dei data base ed le relazioni sono rappresentate dalla linea celeste.

La metodologia prevede una serie di dati input (in nero, fig. n°6.1) e tre gruppi principali di toolset (in rosso, fig. n°1). La struttura dei dati input ripropone quella adottata in alcuni degli esempi riportati nello stato dell'arte; ossia è presente un data base di tipi di edifici (Archetipi) dove si specificano alcuni parametri strutturali e geometrici dell'edificio relazionato, tramite il valore della data di costruzione, con una lista di strutture edilizie dove sono conservate le caratteriste fisiche dei materiali. Come vedremo più nel dettaglio, in seguito è presente anche un data base delle ipotesi effettuate per la definizione degli impianti; tali ipotesi saranno definite in funzione dell'Archetipo, dell'età di costruzione e del numero di unità presenti nell'edificio. Questo gruppo di dati dovrebbe scaturire dal confronto con gli esperti (gli operatori locali nel settore delle costruzioni, gli amministratori comunali e il contesto accademico locale …) la cui conoscenza può proficuamente orientare ed integrare gli studi preliminari per la preparazione dei dati di input. I dati climatici vengono presi direttamente dalla norma italiana (UNI 10349); inoltre è necessaria una serie di input manuali che un operatore dovrà fornire per ogni edificio sulla base dell'osservazione della cartografia o di dati reperiti sul posto.

La preparazione dei dati, come è facile intuire è la parte più lunga del processo, perché presuppone un certo numero di incontri con gli esperti, il lavoro per la sintesi della informazione ricavabile da tali incontri ed infine l'input manuale dei dati nel software. Definire in dettaglio i contenuti e le fasi della preparazione dei dati non è un compito facile in quanto dipende dai dati già disponibili e dagli esperti che si riesce a coinvolgere, e ciò è fortemente condizionato dal contesto locale. Questo studio lascia ad una successiva sperimentazione, in un idoneo contesto decisionale reale, la proposta di una metodologia per la definizione dei dati di input; per i nostri scopi le caratteristiche delle strutture sono state desunte dagli abachi presenti nella UNI 11300-1, mentre gli Archetipi ed altre caratteristiche del contesto sono stati definiti speditamente tramite sopralluoghi diretti e la cartografia disponibile.

Lo schema (fig. n°6.1) mostra anche la sequenza logica dei toolset: il primo, partendo dalla mappa dei perimetri degli edifici e utilizzando i dati forniti dall'utente, definisce tutti i dati necessari al calcolo dei fabbisogni invernali, estivi e di Acqua Calda Sanitaria (ACS) secondo la procedura standard della UNI 11300; Il secondo, combinando i dati ottenuti dal primo con le caratteristiche dei materiali, effettua il calcolo dei fabbisogni producendo i primi risultati relativi allo *"stato attuale"* e fornendo i dati per il calcolo dei consumi. Il terzo, in base alle ipotesi assunte sulle efficienze degli impianti, calcola i consumi di Energia Primaria su cui è assegnata l'etichetta della Certificazione Energetica[2] ed è ricavato il consumo di combustibile da cui le relative emissioni di CO_2 e costi operativi. Tutta la metodologia si svolge in ambiente GIS che garantisce la compatibilità con altri tematismi territoriali grazie alla dimensione spaziale dell'informazione cartografica e può fornire facilmente i dati in formati compatibili per altre analisi con altri strumenti di calcolo.

Di seguito si esporranno nel dettaglio i calcoli svolti nel RET, dividendo l'argomento in due parti principali: nella prima si seguirà dettagliatamente la parte 1 della norma per la determinazione del fabbisogno energetico; nella seconda si discuterà riguardo alla parte 2 della norma e si proporrà una metodologia semplificata per il calcolo dei consumi.

6.2 La determinazione del fabbisogno energetico

In questo paragrafo, seguendo le fasi del calcolo proposto dalla norma, si mostrerà come queste siano state implementate nello strumento GIS, le semplificazioni effettuate, ed i risultati ottenuti.

[2] Il calcolo è effettuato secondo i decreti attuativi dei Dlgs 192/2005 e Dlgs 311/2006 , dei quali l'ultimo è il Dpr 59/del 2 aprile 2009, che è entrato in vigore il 25 giugno 2009.

Il toolbox è organizzato in modo da seguire passo passo le fasi del calcolo UNI, ogni fase ha precisi dati input ed output che vengono salvati in apposite cartelle rendendo trasparente la metodologia; i tools devono essere eseguiti secondo il loro ordine ma solo il primo toolset ha necessità di inserire altri dati da parte dell'utente. La figura (fig. n°6.2) mostra la struttura ad albero del toolbox, organizzato in più toolset che a loro volta contengono i veri e propri strumenti da utilizzare; tutti i toolset sono stati implementati utilizzando il Model Builder presente in ArcMap 10 combinando i tool comunemente presenti nel software con una licenza ESRI completa[3]. I primi due toolset permettono l'acquisizione dei dati e li preparano in maniera conveniente per l'applicazione della metodologia di calcolo della norma. In particolare: il primo (A), tramite una serie di finestre, guida nell'input dei dati riguardo la zona climatica ed alcuni parametri degli archetipi ed il secondo (B) ricava tutte le caratteristiche geometriche degli edifici da utilizzare come input per il calcolo. I toolset seguenti (C,D,E) calcolano il fabbisogno netto invernale ed estivo (calcolo standard della UNI 11300 -1) e quello per Acqua Calda Sanitaria (punto 5.2 della UNI 11300 -2); vi sono anche due toolset (F,G) per il calcolo della Energia Primaria richiesto dalla norma e con una procedura semplificata in merito ai quali si riferirà successivamente.

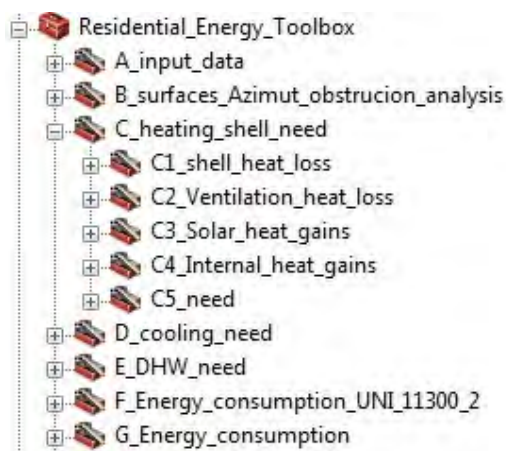



Fig. 6.2

Per valutare l'attendibilità dei risultati e la ragionevolezza delle semplificazioni adottate si farà riferimento al software "DOCET" per il calcolo "standard" degli edifici residenziali: tale software è riconosciuto dalla normativa tecnica italiana come lo strumento semplificato di riferimento per la redazione delle Certificazioni Energetiche nel caso degli edifici esistenti[4]. Al fine di testare la metodologia proposta si presenteranno di volta in volta delle applicazioni basate su edifici ideali o piccole parti di città capaci di esplicitare le criticità e le semplificazioni adottate dei toolset sviluppati.

Prima di entrare nel dettagli dei calcoli e delle semplificazioni eseguite in ogni step della metodologia, si discuterà riguardo ai dati di partenza. Pur sapendo che la definizione di tali dati è probabilmente uno dei punti che meriterebbe un approfondimento maggiore circa i metodi e le fonti dei dati disponibili, si espliciteranno alcune ipotesi di fondo che sottendono la metodologia confrontandole con quelle del calcolo proposto dalla norma e dallo strumento semplificato DOCET e si discuterà circa le caratteristiche dei dati di partenza e gli aspetti critici degli stessi.

[3] Nell'Appendice 2 sono riportati i gli schemi dei tools sviluppati col Model Builder

[4] DM 26 giugno 2009, metodo di riferimento nazionale per la certificazione energetica secondo metodo semplificato (Allegato A, paragrafo 5.2, punto 2)

6.2.1 I dati di partenza

Prima di entrare nel dettaglio della descrizione puntuale dei dati di ingresso, si propone un ragionamento circa le ipotesi semplificative generali che stanno alla base della metodologia e definiscono in particolare l'unità di base sulla quale si effettueranno i calcoli. Partendo dalla *"Zona Termica",*ossia dalla unità di base del calcolo secondo la UNI 11300, si definiranno le ipotesi semplificative della "*Unità minima della metodologia*" in base alle quali si costruirà la cartografia di base (*base MAP*).

I dati di ingresso del calcolo (punti 6.1 e 6.2 della 11300) riguardano le caratteristiche geometriche e tipologiche dell'edificio e le caratteristiche termiche e costruttive dello stesso, nel nostro caso questi si dovranno ricavare da dati i già disponibili a livello territoriale o con attività di indagine non dispendiose per tempi e mezzi utilizzati.

I dati di ingresso possono essere organizzati definendo degli "*Archetype*" che contengono informazioni circa le caratteristiche costruttive formali e tipologiche dell'edificio con l'indicazione del probabile anno di costruzione e degli "*Abachi*" degli elementi costruttivi dove vengono riportate le caratteristiche fisiche degli elementi utili alla metodologia di calcolo proposta. Le informazioni degli *Archetype* e degli *Abachi* sono inserite in un data base formato da tabelle dbf che utilizza come elemento di relazione il periodo di costruzione: è possibile avere più Archetype per lo stesso periodo, ma un solo tipo di elemento costruttivo. In altre parole la semplificazione imporrebbe che tutti gli edifici costruiti in un dato periodo siano costituiti con elementi costruttivi di simili prestazioni, cosa, che per altro, è molto simile alla fenomenologia reale (Darren Robinson 2007, 2009; Stuart Gadsden 2003).

6.2.2 Unità minima del calcolo secondo la UNI 11300: la zona termica

La norma identifica la "zona termica" ossia *ogni porzione dell'edificio, climatizzata ad una data temperatura con identiche modalità di regolazione* (punto 7.2 della 11300) quale l'unità minima di riferimento del calcolo; inoltre è possibile che la zona relativa al riscaldamento differisca da quella relativa al raffrescamento. In un calcolo rigoroso, quale per esempio quello da effettuarsi per la progettazione degli impianti, ogni stanza di ogni singolo appartamento potrebbe essere una diversa zona termica; tuttavia la norma fornisce una serie di regole per il loro accorpamento:

a) le temperature interne di regolazione per il riscaldamento differiscono di non oltre 4 K;

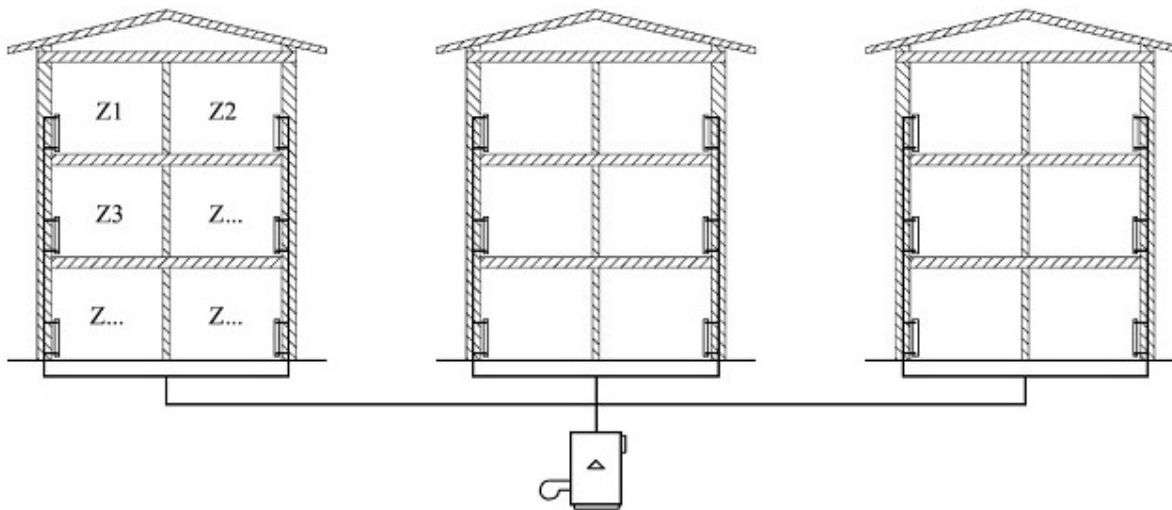
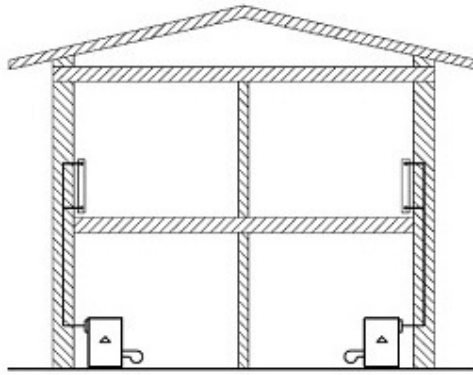
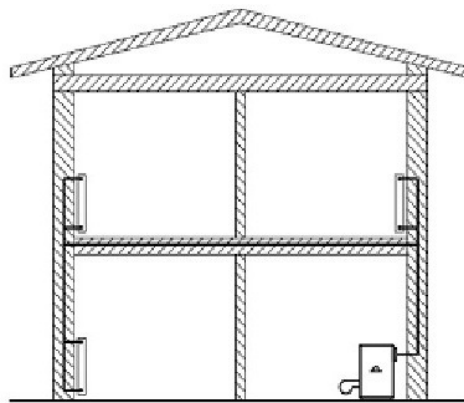
b) gli ambienti non sono raffrescati o comunque le temperature interne di regolazione per il raffrescamento differiscono di non oltre 4 K;

c) gli ambienti sono serviti dallo stesso impianto di riscaldamento;

d) se vi è un impianto di ventilazione meccanica, almeno l'80% dell'area climatizzata è servita dallo stesso impianto di ventilazione con tassi di ventilazione nei diversi ambienti che non differiscono di un fattore maggiore di 4.

La stessa norma propone anche semplificazioni riguardo ad alcuni “sistemi edificio-impianto” costituiti da uno o più involucri edilizi o da porzioni di edificio climatizzati attraverso un unico sistema di generazione (fig n°6.3) (punto 7.1 della 11300). In altre parole, applicando queste norme semplificative nel caso di un edificio costituito da più unità immobiliari avente un sistema di riscaldamento centralizzato con la medesima regolazione per ogni unità si può impostare la zona termica coincidente con la somma di tutti i volumi riscaldati, ossia con il volume dell’edificio meno il vano scale (qualora non fosse riscaldato) o eccetto livelli non riscaldati come ad esempio interrati o seminterrati. In questo caso, per altro molto comune nei tessuti urbani densi, è permesso effettuare un solo calcolo per tutto l’edificio senza distinzione tra le varie unità abitative. Nel caso siano presenti impianti autonomi però la semplificazione non sarebbe possibile in quanto il fabbisogno dei singoli appartamenti può differire notevolmente e di conseguenza le prestazioni dei singoli impianti possono essere diverse. In un edificio multi livello gli appartamenti all’estremità superiore ed inferiore sono caratterizzati da fabbisogni molto maggiori, inoltre possono essere sensibili anche le differenze scaturite dal diverso orientamento delle superfici finestrate. Perciò, a rigor di logica, l’impianto autonomo avrà diverse caratteristiche e opererà in condizioni di esercizio specifiche generando rendimenti stagionali diversi.

Nella nostra metodologia sarà necessario ricomprendere in questa semplificazione anche gli edifici forniti di impianti autonomi.

Fig. n° 6.3a ,6.3b, 6.3c esempi di sistema edificio impianto tratti dalla UNI 11300-1

a) Sistema edificio-impianto costituito da più edifici serviti da un’unica centrale termica

b) Sistema edificio-impianto costituito da una porzione di edificio servita da un impianto termico autonomo

c) Sistema edificio-impianto costituito da un unico edificio

Il software DOCET non permette l'articolazione del volume riscaldato per singola zona termica, o meglio ogni unità abitativa può essere alimentata da un solo tipo di impianto termico e tutto il volume sarà servito da esso. Inoltre il software, nel suo evidente spirito semplificatorio, permette di effettuare una certificazione energetica per "edificio" nella quale viene impostata la zona termica coincidente con l'involucro esterno di tutto l'immobile seppur esso sia costituito da più unità abitative. Questo è esplicitamente previsto nella norma qualora sia presente un impianto centralizzato (fig.n°6.3c); ma la certificazione per *edificio* proposta dal software estende tale semplificazione anche al caso degli impianti autonomi. In questo caso, considerando un utente standard, la regolazione degli impianti autonomi utilizzati per il riscaldamento ed ACS dipende principalmente dalle condizioni climatiche comuni a tutto l'edificio, assunta quindi questa condivisibile ipotesi il software suppone che tutte le unità utilizzino lo stesso tipo di impianto autonomo di prestazioni pressoché equivalenti ricadendo in un calcolo simile a quello dell'impianto centralizzato. La differenza sta nel fatto che gli impianti autonomi sono generalmente caratterizzati da rendimenti stagionali inferiori a quelli centralizzati.

Abbiamo già discusso circa la tipologia dei dati esistenti e la loro disponibilità; ora, considerando che l'oggetto dello studio non sono i singoli appartamenti, ma un ambito di scala urbano, la metodologia dovrà

ricercare semplificazioni e definire ipotesi per sopperire alla mancanza di dati ed alle necessità di sintesi tipiche di uno studio ad ampia scala.

6.2.3 L'unita minima della metodologia

La prima semplificazione riguarda l'unità minima dello studio; in più esempi riportati nello stato dell'arte (City Sim, SEP, SUNtool..) si è osservato che l'unità generalmente utilizzata è l'edificio e non la singola unità abitativa; questo perché alla scala urbana si può accettare una serie di assunzioni che limitino i dati di input necessari e che semplifichino perciò le analisi. La semplificazione consiste nell'impostare la zona termica, oggetto del calcolo, coincidente con l'involucro dell'edificio senza considerare le partizioni interne verso ambienti climatizzati. In altre parole, si imposterà la zona escludendo solo le parti dell'edificio che non sono riscaldate come il vano scala o il garage, senza distinzione per impianti centralizzati o autonomi. Si adotta cioè una semplificazione maggiore di quella prevista dalla norma nel caso di impianti centralizzati ed unità simili, coincidente, peraltro con quella proposta dal software DOCET nel calcolo in modalità certificazione dell'intero edificio. In questo tipo di calcolo il fabbisogno energetico è mediato su tutta la superficie utile residenziale dell'edificio; quindi nel caso di edifici multi piano non si potranno esplicitare le differenze tra gli appartamenti che si trovano alle estremità superiori o inferiori dello stabile, ma si avrà una misura del fabbisogno totale dell'edificio[5].

Stabilito che la *zona termica* coinciderà, salvo alcune epurazioni, con il volume dell'edificio sarà utile focalizzare l'attenzione su cosa si intenda per "*edificio"* ai fini di questo studio, per identificare i dati territoriali che possano poi fornire l'informazione necessaria. A tal proposito riportiamo la definizione fornita dall'ISTAT utilizzata nell'ambito del Censimento della Popolazione e delle Abitazioni del 2001[6].

"Si intende per edificio una costruzione di regola di concezione ed esecuzione unitaria; dotata di una propria indipendente struttura; contenente spazi utilizzabili stabilmente da persone per usi destinati all'abitazione c/o alla produzione di beni e/o di servizi, con le eventuali relative pertinenze; delimitata da pareti continue, esterne o divisorie, e da coperture; dotata di almeno un accesso dall'esterno."

Tale definizione ha numerosi aspetti funzionali al nostro studio, in quanto associa alla definizione fisica dell'edificio (delimitato da pareti continue esterne o divisorie) anche la caratteristica di indipendenza della struttura. L'edificio quindi è anche il riferimento per la gestione dei beni comuni tra le diverse unità immobiliari che lo compongono, quali, nel nostro caso: impianti di climatizzazione o di ACS centralizzati ed eventuali impianti di produzione da FER. Nella nostra unità minima per il calcolo non si dovrà perdere il riferimento all'unità gestionale in quanto questo può influenzare anche le migliorie tecnologiche opzionabili

[5] In realtà applicando dei coefficienti si potrebbero stimare le differenti condizioni degli appartamenti alle estremità superiori ed inferiori; tale possibilità potrà essere inserita successivamente nella metodologia.
[6] http://www.istat.it , Glossario del 15° Censimento della popolazione e delle abitazioni

per un dato edificio: in linea generale la presenza di più unità abitative, gestite in maniera unitaria[7], favorisce l'uso di soluzioni centralizzate, mentre in edifici con poche abitazioni si preferiranno impianti autonomi.

Vi sarà poi un'altra semplificazione relativa ai parametri di calcolo che verranno inseriti nel Toolbox. In linea generale le unità immobiliari presenti negli edifici hanno destinazioni d'uso molto variabili: sebbene la stragrande maggioranza sia ad uso abitativo vi è un peso, più o meno sensibile a seconda della zona della città, di unità dedicate ad altri usi quali: studio/ufficio, attività commerciali, usi pubblici, attività ricettive ed altri. La norma fornisce dei parametri differenti per il calcolo in funzione della destinazione d'uso della zona termica, ma noi non siamo in grado di specificare l'articolazione interna delle unità immobiliari: possiamo solo ricavare dal data base catastale il loro peso sul totale dell'edificio in termini di superficie lorda e n° di unità immobiliari. Poiché non vi è modo di definire la geometria delle zone termiche interne dell'edificio, sarà necessario introdurre alcune ipotesi semplificative rispetto a quanto proposto dalla norma. Partendo dal presupposto che lo studio è focalizzato sugli usi residenziali, per altro largamente preponderanti, il calcolo si effettuerà utilizzando i parametri forniti dalla norma per le zone termiche ad esso dedicate. Perciò verranno esclusi gli edifici con usi pubblici (scuole, banche, uffici pubblici) e verranno eliminati dal volume riscaldato i piani dell'edificio che mostrino usi non abitativi (negozi, grandi magazzini, autorimesse, laboratori artigiani …) facilmente riconoscibili dall'osservazione esterna. Ossia più semplicemente, dopo aver eliminato dal calcolo gli edifici con usi pubblici o totalmente destinati ad usi turistico ricettivi, si sottrarranno dal volume della zona termica i piani terra quando questi siano usati per attività diverse dalla residenza ipotizzando per il resto del volume usi assimilabili a quello abitativo (uffici privati, studio, attività ricettive di piccola dimensione).

6.2.4 La carta di base

La *carta di base* (baseMAP) dovrà rappresentare l'ambito urbano assumendo come sua unità minima *l'edificio;* si tratterà quindi di una mappa georeferenziata (formato SHP) dei perimetri degli edifici, dai quali, come si vedrà in seguito, si potranno ricavare le caratteristiche geometriche delle superfici disperdenti e dei volumi riscaldati. La baseMAP sarà anche il riferimento per la visualizzazione dei risultati dei calcoli e grazie al formato SHP potrà essere facilmente impiegata per letture incrociate con altri tematismi territoriali.

La cartografia topografica (aereofoto, ortofoto ..), per quanto dettagliata, può fornire informazioni solo sulla geometria e l'aspetto esterno degli edifici ma non possiede le informazioni relative alla proprietà degli edifici: ossia non fornisce informazioni circa il numero di unità immobiliari presenti, la loro destinazione d'uso ed i limiti fisici degli edifici che non siano visibili dall'esterno. Il censimento ISTAT contiene alcune

[7] Si fa riferimento alla presenza di un amministratore del condominio, figura incaricata a gestire le parti comuni dell'immobile obbligatoria per condomini di più di 3 proprietari (*capo II del titolo VII del terzo libro del codice civile)*

informazioni al riguardo, ma queste sono riferite a gruppi di edifici, perciò non hanno la precisione necessaria al nostro studio; mentre il data base catastale sembra possedere la scala utile alla metodologia in quanto fornisce informazioni sulla proprietà con il riferimento al singolo edificio.

La cartografia catastale (nella *Mappa Urbana*) contiene l'informazione spaziale del perimetro degli edifici e fornisce altri dati importanti per il calcolo quali la superficie utile, il numero di unità abitative, ed il tipo di attività presente. Come abbiamo discusso precedentemente, il data base catastale, seppur teoricamente molto preciso, può essere fonte di errori sia nei dati geometrici che negli attributi alfanumerici: sarà quindi sempre necessario costruire la "*carta di base"* verificando i dati da più fonti. Una precisa definizione delle metodologie per ricavare i dati geometrici di ingresso non può essere effettuata in questa sede perché la qualità della cartografia e dei dati disponibili differisce da città in città e perciò dipende fortemente dal contesto preso in esame. Si possono però definire le informazioni minime necessarie per impostare il calcolo in ambiente GIS, partendo da dati attualmente disponibili con copertura nazionale. Questa ipotesi di partenza ci permette di impostare una metodologia che possa funzionare anche nel "*caso peggiore"*, ossia nel caso non siano disponibili dati cartografici più raffinati. Nel caso siano disponibili dati più dettagliati, la precisa definizione dei dati minimi di input del calcolo e la struttura aperta dei toolset, garantita dallo sviluppo in ambiente ESRI Model Builder, permetteranno una semplice implementazione dei dati nella procedura di calcolo.

Assumendo quindi che l'unità di riferimento per il calcolo è *l'edificio,* sarà necessario che la *carta di base* contenga almeno le seguenti informazioni: il *perimetro esterno dell'edificio*, le *quote di base* ed alla gronda, *il numero di unità immobiliari* presenti ed un *codice identificativo univoco* per ogni edificio (tab. n°6.1).

Il codice identificativo univoco dell'edificio è particolarmente importante perché sarà fondamentale per il funzionamento dei toolset proposti; naturalmente la metodologia potrebbe funzionare con un codice qualunque, ma si propone l'identificativo della particella catastale in modo da poterlo utilizzare per procedure di aggiornamento dei dati o per letture incrociate con altri data base territoriali.

Il *perimetro dell'edificio* è il parametro che definisce il riferimento spaziale, maggiore è la precisione con il quale questo viene fornito e maggiore sarà l'accuratezza dei risultati del calcolo. Utilizzando il perimetro e le quote di base e di gronda dell'edificio si otterranno le superfici disperdenti con i loro rispettivo orientamento, i volumi ed anche i parametri di ombreggiamento.

La quota di base, se non disponibile, potrà essere ottenuta dalla cartografia tecnica regionale tramite l'uso di alcuni algoritmi presenti in ambiente GIS[8]; mentre, salvo cartografie di dettaglio, la *quota alla gronda*, dovrà essere ottenuta inserendo manualmente il numero di piani dell'edificio e moltiplicando tale numero

[8]Prendendo ad esempio il software ArcGIS 10, i passaggi possono essere: trasformazione delle linee di livello in Raster (3D Analyst Tools /Raster interpolation/Topo to Raster); trasformazione del raster in uno SHP puntuale (3D Analyst Tools/ Conversion Tools/Raster to Point); Join spaziale tra lo SHP puntuale e l'identificativo di ogni edificio (Analysis Tools/Overlay/Spatial Join); Media di tutti i valori di quota afferenti ad ogni edificio (Analysis Tools/Statistics/Summary Statistics)

per l'altezza tipica dell'interpiano. Le cartografie tecniche regionali possiedono un dato di altezza alla gronda ma nel caso della Cartografia Tecnica della Regione Sardegna la scala (1:10.000) non ha il dettaglio necessario ad esplicitare le differenze tra i singoli edifici in un contesto urbano denso[9].

Il *numero di unità abitative* di ogni edificio può essere ricavato dal Data Base Catastale: tale parametro sarà utile ad impostare il calcolo proposto dalla norma ed avrà una certa importanza anche nello studio degli scenari progettuali; inoltre gli usi delle unità immobiliari saranno utili a riconoscere gli edifici da eliminare dal calcolo.

Dal data base catastale è possibile estrarre, per le sole unità immobiliari dedicate alla residenza, anche il dato della Superficie Utile al netto della tramezzatura interna. Tale informazione, desunta dai dati inseriti durante le procedure di accatastamento degli immobili, viene utilizzata per un controllo incrociato sulle dichiarazioni rese per il pagamento della Tassa sui Rifiuti Solidi Urbani (TARSU). Tale dato potrebbe essere utile per definire la superficie utile dell'edificio richiesta tra i parametri del calcolo, ma essendo fornita per le sole unità abitative spesso non è coerente con i volumi calcolati utilizzando i perimetri degli edifici, perciò, anche per effettuare il calcolo in modo che produca risultati confrontabili con quelli della norma, si è preferito utilizzare le procedure fornite dalla stessa norma per la stima della superficie utile ed i volumi riscaldati partendo da quelli lordi calcolabili dalla cartografia. La non coerenza dei dati relativi alla superfici utili (ed anche quelle lorde) riscontrabili nel data base catastale e quelli calcolati dai perimetri della Mappa Urbana evidenzia che tali perimetri non rispondono pienamente alla definizione di *edificio* da noi assunta: il perimetro è il limite esterno delle murature esterne o la mezzeria per quelle interne, ma da una parte non da informazioni qualora siano presenti unità abitative interrate o seminterrati e dall'altra spesso ricomprende in tale perimetro anche vani adibiti a funzioni non residenziali quali autorimesse o attività commerciali. Quindi, la metodologia effettua l'ulteriore assunzione di considerare come unità minima di calcolo il perimetro dell'edificio preso dalla Mappa Urbana del Catasto eventualmente raffinato con cartografia più dettagliata.

Lo studio approfondito dei dati di input ottimali per questo tipo di analisi è sicuramente uno dei campi di ricerca che questo lavoro mette in evidenza.

Il calcolo ha inoltre bisogno di un'altra mappa che rappresenti il contesto in cui si trova l'area di studio: ossia partendo dal presupposto che l'area di studio sia una parte di città, sarà necessario avere una cartografia più estesa con anche gli elementi che possono creare ombreggiature sugli edifici del margine dell'area. In altre parole sono necessari anche i poligoni georeferenziati dei corpi edilizi presenti nelle aree

[9] Tale affermazione è molto pessimistica perché quasi tutte le amministrazioni comunali possiedono della cartografia digitale di dettaglio del centro abitato (1:5000-1:2000) utilizzata generalmente per l'elaborazione dei Piani Regolatori Generali. Nel nostro lavoro si partirà dal livello minimo di accuratezza del dato in modo da utilizzare la metodologia nel "caso peggiore": una miglior dettaglio dei dati di partenza porterà semplificazioni riguardo ai dati di input e stime più verosimili.

contigue all’area di studio. In questo caso però il dettaglio richiesto alla cartografia è più basso e di natura prettamente geometrica in quanto verrà utilizzato solo per il calcolo del grado di ombreggiamento delle superfici verticali degli edifici: si potrà, in linea generale, utilizzare la Cartografia Tecnica Regionale (scala 10.000 o 1:5.000) che possieda i dati delle altezze alla gronda (tab n° 6.2). La *“context MAP”* vera e propria che verrà utilizzata per il calcolo del fattore di ombreggiamento conterrà i dati geometrici degli edifici di margine e quelli della *“base MAP”*.

	informazione	**Possibile fonte**	**note**
Obbligatori	Perimetro georeferenziato del perimetro dell’edificio (formato vettoriale)	Mappa Urbana Catastale implementata da cartografie di maggiore precisione	Il poligono rappresenta i confini fisici e gestionali dell’edificio
	Codice identificativo univoco dell’edificio	Un codice univoco, si propone l’uso dell’identificativo della particella catastale	Il codice univoco è fondamentale nelle operazioni di calcolo. L’uso dell’identificativo catastale facilita la connessione tra dati di origine diversa
	Numero di Unità immobiliari (residenziali e non) presenti nell’edificio.	Data Base catastale delle unità immobiliari riferibile agli edifici grazie all’identificativo della particella	Questo dato è un parametro utile sia in alcune fasi del calcolo della Norma che per la definizione delle ipotesi di progetto
	Quota sul livello del mare della base dell’edificio	Carta Tecnica Regionale o altre più dettagliate	La precisione delle carte 1:10.000 è sufficiente per questo dato.
Non Obbligatori	Quota sul livello del mare alla gronda dell’edificio (non obbligatoria)	Cartografie di dettaglio maggiore della CTR se disponibili	La precisione delle carte 1:10.000 non è sufficiente per questo dato, nel caso manchi si otterrà moltiplicando l’altezza media dei piani per i numero degli stessi
	Usi delle unità immobiliari (non obbligatorio)	Data Base catastale delle unità immobiliari riferibile agli edifici grazie all’identificativo della particella	Si tratta dei gruppi e delle categorie catastali
	Superficie Utile residenziale (non obbligatoria)	Data Base catastale delle unità immobiliari riferibile agli edifici grazie all’identificativo della particella	Per le unità immobiliari dedicate a residenza è presente il dato di superficie utile dichiarato per il pagamento della TARSU
	Superficie lorda (non obbligatoria)	Data Base catastale delle unità immobiliari riferibile agli edifici grazie all’identificativo della particella	

Tab n°6.1 dati minimi che definiscono la baseMAP

	informazione	**Possibile fonte**	**note**
obbligatori	Perimetro georeferenziato del volume che crea ombreggiamento (formato vettoriale)	Carta Tecnica Regionale o altre più dettagliate	In questo caso si tratta solo di caratteristiche geometriche
	Codice identificativo univoco del poligono	Un codice univoco qualunque	Il codice è funzionale alle operazioni di calcolo del fattore di ombreggiamento
	Quota sul livello del mare alla gronda dell’edificio	Carta Tecnica Regionale o altre più dettagliate	La precisione delle carte 1:10.000 è sufficiente per questo dato.

Tab n°6.2 dati minimi che definiscono la contextMAP

6.2.5 La definizione degli Archetipi e degli abachi delle strutture

Gli Archetipi contengono alcuni dati di input del calcolo inerenti le caratteristiche geometriche e costruttive degli edifici identificabili per tipologia edilizia. Queste informazioni sono ricorrenti all'interno di gruppi di edifici e generalmente facilmente riconoscibili nel tessuto urbano, e possono essere desunte da quell'insieme di conoscenze documentali ed esperienziali che gli operatori locali del settore delle costruzioni spesso possiedono, oltre che con uno studio apposito.

Lo studio delle tipologie edilizie, unitamente a quello dei tessuti urbani, è largamente utilizzato nella pratica urbanistica ed in campo accademico per esplorare le città al fine di riconoscerne le caratteristiche ricorrenti che possono essere la base conoscitiva per azioni di piano o regolamenti urbanistici. Tale studio viene effettuato, con diversi gradi di accuratezza, per la redazione dei Piani Regolatori Generali Comunali dove per la definizione delle norme attuative è necessario identificare aree con caratteristiche di omogeneità riguardo alle tipologie edilizie esistenti ed i processi insediativi in atto. Studi di maggiore dettaglio sono la base di piani particolareggiati attuativi inerenti parti specifiche della città. Nelle città maggiori sono spesso disponibili studi accurati sviluppati per piani con scopi di tutela e recupero di aree specifiche; oppure, nel caso di edificazione realizzata tramite piani di lottizzazione sia di iniziativa privata che pubblica, potrebbero essere disponibili presso l'amministrazione comunale i progetti che riportano con precisione le caratteristiche costruttive, geometriche e quantitative delle tipologie presenti nel comparto edificatorio. Oltre alle informazioni presenti negli strumenti urbanistici un'altra fonte di preziose informazioni può essere il Data Base del Censimento ISTAT sulla Popolazione e sulle Abitazioni (attualmente in fase di aggiornamento all'anno 2011) che fornisce alcuni dati (tipo di strutture utilizzate, anno di costruzione, numero di unità abitative, presenza di riscaldamento, ed altri) col dettaglio della Sezione Censuaria, la quale in ambito urbano denso generalmente coincide con l'isolato e può essere proficuamente utilizzata per impostare uno studio tipologico.

In realtà però la condizione più comune è una certa insufficienza di dati per definire le tipologie edilizie che possano essere utili al nostro scopo: in generale la zonizzazione dei PRG non ha il dettaglio a noi necessario essendo definita principalmente alla scala del quartiere o dell'isolato, mentre gli studi dei piani particolareggiati, quando presenti, interessano aree piuttosto limitate della città. Inoltre non tutti i dati necessari alla definizione degli archetipi sono presenti negli studi tipologici che tradizionalmente vengono svolti; perciò si può assumere che in generale sarà necessario impostare uno studio apposito per la definizione degli archetipi. Anche in questo caso però una definizione puntuale delle fasi e delle metodologie per effettuare questo studio verrà lasciata ad un'altra sede, ma si definiranno con precisione i dati minimi che devono essere inseriti nell'Archetipo per permettere l'esecuzione del calcolo.

6.2.5.1 L'approccio tipologico per la stima del fabbisogno energetico alla scala urbana

L'approccio che prevede una sorta di tipizzazione del patrimonio edificato è uno dei più usati per colmare la cronica mancanza di dati che caratterizza lo studio dei consumi energetici del settore residenziale. In letteratura si assiste a diversi esempi di modelli bottom-up di estrazione statistica, ingegneristica o mista, tra i quali il nostro studio si vuole inserire, che interpretano in maniera funzionale ai propri scopi specifici il concetto di archetipo.

Uno dei nodi da dirimere è quale informazione debba essere effettivamente contenuta nel tipo, questa può riguardare aspetti di varia natura:

- geometrica, i volumi, le superfici disperdenti ed il loro orientamento;
- tipologica, come la presenza di balconi, il rapporto tra superficie opaca e trasparente nelle chiusure verticali, la tipologia di copertura e molto altro;
- costruttiva, ossia le caratteristiche termo-fisiche dei materiali e degli elementi di fabbrica e utilizzati;
- tecnologica, quali le prestazioni degli impianti presenti.

Per definire quali dati, tra quelli necessari al calcolo, siano da tipizzare è necessario capire quali di questi possano essere ricavati da informazioni disponibili con il dettaglio richiesto: la tipizzazione è un espediente semplificativo utile a colmare le lacune dei dati di partenza. Ma non solo, la tipizzazione assume anche un ruolo non secondario di interpretazione della realtà: se per assurdo si conoscessero con precisione i dati riguardo ad ogni edifico la mole di informazioni renderebbe impossibile un suo uso nei contesti decisionali richiedendo una pesante opera di sintesi che porterebbe ancora una volta ad una lettura per tipi o classi.

Darren Robinson (2007-2009) nei suoi strumenti (CitySym e SunTool) per il calcolo dinamico del fabbisogno energetico degli edifici alla scala urbana, ricava le caratteristiche geometriche delle superfici disperdenti degli edifici dalla loro rappresentazione spaziale semplificata, poi assegna dei tipi di strutture edilizie ed imposta le zone termiche in maniera manuale. A questo punto, basandosi su informazioni raccolte circa i materiali utilizzati in ogni specifica città in funzione dell'anno di costruzione, assegna automaticamente le caratteristiche fisiche dei materiali ad ogni superficie e calcola il fabbisogno netto dell'involucro (cap XX). In questo caso la tipizzazione colma la mancanza dei dati necessari per il calcolo e da origine ad un numero limitato di tipi prettamente basato sull'età di costruzione e sui materiali utilizzati.

Shimoda (2006) per valutare l'effetto delle politiche di risparmio energetico a livello urbano nella città di Osaka propone una tipizzazione basata su tre parametri: il tipo di edificio, il grado di isolamento ed il profilo degli occupanti. In particolare definisce 20 tipologie edilizie (10 di case isolate e 10 di appartamenti) in base alla dimensione planimetrica ricavabile dai dati riferiti al patrimonio edificato e per le quali ipotizza anche una disposizione planimetrica interna. A queste tipologie, partendo dagli anni di entrata in vigore delle normative giapponesi riguardanti le prestazioni energetiche degli edifici, assegna 5 diversi gradi di

isolamento in funzione dell'anno di costruzione dell'edificio, ossia assegna ad ogni edifico i livelli di isolamento dettati dalle normative vigenti nel suo anno di costruzione. In questo caso si propone anche una tipizzazione del profilo degli occupanti[10], che influisce fortemente sul consumo reale, dando origine in realtà ad una grande vastità di combinazioni di caratteristiche capaci di rappresentare con una città virtuale la complessità della reale. Tale rappresentazione verrà utilizzata dall'autore per prevedere alla scala urbana l'effetto di diverse politiche per il risparmio energetico anche indirizzate al cambiamento delle abitudini degli abitanti. Accanto ad una tipizzazione piuttosto accurata dei profili dei residenti, che nasce dalla grande quantità di dati disponibili, si utilizza una semplificazione spinta delle caratteristiche geometriche basate essenzialmente sulla superficie dell'unità immobiliare; ancora una volta si fa riferimento alla normative vigenti, e quindi agli anni di costruzione degli edifici, per stabilire le caratteristiche fisiche delle strutture.

In maniera più semplice Rylatt e Gadsden (2001-2003) propongono una metodologia per la stima del potenziale della produzione di energia tramite pannelli solari (termici e fotovoltaici) in ambito urbano. Per semplificare i dati di input della procedura di calcolo del fabbisogno energetico del patrimonio edificato (cap 5) utilizzano un approccio tipologico basato su due parametri. In particolare propongono un parametro formale secondo il quale si individuano sei tipologie edilizie per ognuna delle quali viene ipotizzata l'estensione delle zone termiche e di conseguenza delle superfici disperdenti. Le caratteristiche dei materiali vengono assegnate in base all'anno di costruzione della struttura e le altre caratteristiche formali (forma ed orientamento del tetto, superficie finestrata, balconi, ecc) sono desunte dalla cartografia e tramite sopralluoghi. In questo caso l'approccio tipologico contiene forti semplificazioni che comprendono sia le caratteristiche geometriche dell'edificio che quelle dei materiali.

Girardin (2009), parte da un insieme piuttosto vasto di dati riguardanti i consumi delle caldaie di poco meno della metà del patrimonio edificato di Ginevra che per gli scopi dello studio viene diviso in 80 categorie basate sulla tipologia d'uso e sull'anno di costruzione. In questo caso il parametro geometrico non viene preso in considerazione perché per calcolare il fabbisogno del patrimonio edificato si utilizza una generalizzazione per tipologia dei dati reali di consumo.

Si osserva come la tipizzazione possa essere utile sia a semplificare i dati di input che a facilitare e indirizzare l'interpretazione dei risultati dei modelli, in altre parole le semplificazioni introdotte nei differenti modelli dipendono dallo scopo stesso per il quale sono predisposti. Robinson propone una struttura del data base funzionale ad esplicitare le relazioni analitiche che legano le caratteristiche fisiche dell'edificio con i propri consumi, mentre Shimoda si concentra sulla tipizzazione delle attività umane. In

[10] Shimoda ed altri (2006) hanno definito, tramite una vasta campagna di questionari, il profilo temporale delle attività giornaliere (con un intervallo temporale di 5minuti) di otto tipologie di occupanti: maschio e femmina anziani, maschio e donna lavoratrice, casalinga, studente della scuola elementare, studente della junior high school, studente della high school. In base a queste attività e conoscendo il numero e le caratteristiche degli abitanti degli appartamenti hanno potuto definire i fabbisogni energetici per ogni tipo di occupante dell'appartamento.

maniera ancora differente Girardin utilizza relazioni inferenziali tra osservazioni reali dei consumi ed alcune tipologie di edifici decise a priori per delineare le caratteristiche dei consumi della città di Ginevra in maniera funzionale alla ottimizzazione di sistemi di teleriscaldamento.
La struttura dei dati della nostra metodologia sarà molto simile a quella adottata da Robinson in quanto particolarmente funzionale ad effettuare il calcolo del fabbisogno energetico in maniera analitica esplicitando i parametri chiave del calcolo riguardanti le strutture e i materiali dell'involucro. Il data base ad archetipi ed abachi delle strutture permette da una parte di colmare le lacune di informazione e dall'altra di fornire già di partenza uno strumento interpretativo della realtà che sarà poi utilissimo in fase di definizione degli scenari di trasformazione.

6.2.5.2 La struttura dei dati degli Archetipi e degli Abachi delle Strutture

Nel nostro caso le informazioni da inserire come input della metodologia sono dettate dai dati necessari per effettuare il calcolo del fabbisogno energetico secondo la procedura standard della UNI 11300 e, naturalmente, dalla qualità dell'informazione disponibile a livello urbano. Tale livello di informazione può variare notevolmente rispetto al contesto: perciò l'esatta struttura dei dati di partenza non potrà essere definita a priori. Si partirà quindi identificando i dati minimi necessari per l'esecuzione del calcolo e la struttura dei dati sarà definita supponendo disponibili solo quegli strati informativi che siano accessibili con copertura nazionale e siano trattabili con i più diffusi strumenti GIS.

I dati richiesti dalla norma possono essere divisi a seconda della loro natura:
geometrici: i volumi riscaldati e non e le superfici disperdenti con la loro area, orientamento e grado di ombreggiamento;
tipologici: incidenza delle superfici trasparenti, tipologia di tetto e di basamento, balconi e schermature solari, altezza media interpiano, dimensione del vano scala;
fisici: parametri fisici dei materiali dell'involucro dipendenti dalla stratigrafia delle murature e dal tipo di chiusure trasparenti.
La norma stessa fornisce alcuni prospetti e tabelle per ricavare tali dati in maniera semplificata in funzione di caratteristiche dell'edificio facilmente osservabili quali quelle tipologiche o dei materiali di costruzione. Per esempio la norma permette di utilizzare strutture standard a partire da alcune osservazioni sul tipo di edifico oppure semplifica la determinazione dell'influenza dell'ombreggiatura con dei prospetti per la determinazione dei guadagni solari. I dati di ingresso saranno quindi strutturati in maniera funzionale all'utilizzo dei prospetti e delle tabelle semplificative presenti nella norma ed utilizzabili per un calcolo di tipo standard.
In particolare saranno predisposte tabelle in formato dbf dove verranno raccolti i dati necessari al calcolo; il formato dbf è stato scelto in quanto compatibile con una grande quantità di software GIS e con i più

comuni fogli di calcolo. Una tabella raccoglierà i dati di natura tipologica dove ogni record conterrà gli attributi che definiscono gli "*Archetipi*"; verranno poi approntate delle tabelle in cui inserire i parametri fisici dei materiali al variare dell'anno di costruzione, una diversa per ogni tipo di elemento di fabbrica.

6.2.5.3 Gli attributi degli Archetipi

Di seguito si esporranno gli attributi che definiscono gli archetipi, specificandone il formato che il dato avrà nel data base, la fonte e l'uso all'interno della procedura del calcolo

Archetype ID (string): una stringa che identifica univocamente l'archetype (chiave) nell'area oggetto di studio, potrà essere ad esempio un numero o una sigla. Tale chiave verrà spesso usata nei tools per richiamare di volta in volta i dati per il calcolo contenuti nel data base.

Periodo di costruzione (string): si tratta del periodo in cui con estrema probabilità l'edificio è stato costruito o fortemente ristrutturato, il dato sarà utilizzato per combinare le informazioni presenti negli abachi delle strutture edilizie con quelle degli archetipi al fine di effettuare il calcolo.
Tali periodi sono articolati combinando la suddivisione che viene proposta all'interno dei dati ISTAT del Censimento della Popolazione e delle Abitazioni con le date di entrata in vigore delle leggi italiane riguardo le prestazioni termiche degli edifici. Il riferimento al Censimento è funzionale a rendere confrontabili i risultati della metodologia proposta con i dati ISTAT ed è particolarmente efficace per classificare gli edifici costruiti prima delle emissione delle leggi sul risparmio energetico. Tale articolazione viene inoltre richiamata anche negli abachi della norma per la determinazione delle caratteristiche fisiche degli elementi costruttivi nel calcolo "standard". Il riferimento alla normativa è funzionale a definire, in assenza di informazioni specifiche, quali siano le prestazioni termiche minime degli elementi edilizi. Per il decennio 1972 e 1981 si preferito utilizzare la definizione ISTAT: le specifiche della 373 non erano particolarmente restrittive ed i materiali isolanti utilizzati allora attualmente hanno sicuramente perso buona parte delle loro caratteristiche fisiche, perciò gli edifici costruiti in quel decennio verranno considerati privi di isolamento termico come per gli anni precedenti. La legge 373, per quanto introducesse alcuni moderni concetti (il rendimento del sistema edificio-impianto, i gradi giorno, le zone climatiche) apponeva prescrizioni piuttosto blande da cui la sua efficacia, soprattutto nell'Italia del sud, fu molto limitata e variabile: perciò per definire il grado di isolamento delle strutture costruite tra il 1981 ed il 1991 sarà necessario basarsi sulla conoscenza esperta degli operatori locali del settore. La prima effettiva legge italiana sul risparmio energetico fu del 1991 e rimase in vigore fino al 2005, gli edifici costruiti in questi anni presentano strutture edilizie generalmente isolate, sono caratterizzati da buone caratteristiche di efficienza energetica costanti dipendenti essenzialmente dalla zona climatica in cui è ubicato. Dopo il 2005 i limiti di

trasmittanza dell'involucro e di efficienza energetica dell'edificio sono determinabili, con buona approssimazione seguendo le prescrizioni apposte dai decreti attuativi successivi.

Periodi Istat	**Normative italiane**	**Periodi proposti**	**Isolamento delle strutture**
Prima del 1919	No regulation	Prima del 1919	assente
tra il 1919 e il 1945	No regulation	tra il 1919 e il 1945	assente
tra il 1946 e il 1961	No regulation	tra il 1946 e il 1961	assente
Tra il 1962 e il 1971	No regulation	Tra il 1962 e il 1971	assente
Tra il 1972 e il 1981	Legge n°373/1976	Tra il 1972 e il 1981	assente
tra il 1982 e il 1991	Legge n°373/1976	tra il 1982 e il 1991	Poco isolate
dopo il 1991	Legge n°10/1991	tra 1991 e il 2005	Mediamente isolate
	D. LGS. 192/2005	Dopo il 2005	Fortemente isolate

Tab n°6.3 intervalli temporali per la determinazione delle prestazioni delle strutture

Descrizione (string): sintetica descrizione del tipo di edificio a cui l'archetipo si riferisce; a questo attributo potrebbero anche essere aggiunti nel data base foto o schemi grafici esemplificativi dell'archetipo. Tale attributo non ha una funzione specifica nel calcolo ma è utile alla descrizione ed alla rappresentazione dell'informazione riguardo al contesto.

Altezza media dell'interpiano (Dbl): Altezza media dell'interpiano [m] considerando anche lo spessore del solaio; l'attributo verrà utilizzato, insieme all'input del numero di piani, per calcolare l'altezza dell'edificio da cui deriveranno le superfici disperdenti ed i volumi. Questo dato è anche un parametro di input per il software semplificato DOCET

Main glazing ratio (DBl): il rapporto tra la superficie finestrata (tutto il vano) e la superficie della facciata in considerazione; per facciata principale si intende una superficie verticale che delimita l'edificio a contatto con l'esterno per tutta l'altezza (facciate sulle strade o sui retro degli edifici).

Secondary glazing ratio(Dbl): il rapporto tra la superficie finestrata (tutto il vano) e la superficie della facciata in considerazione; per facciata secondaria si intende una superficie verticale che delimita l'edificio che per una parte della sua l'altezza non è esterna (le facciate laterali degli edifici).

Questi valori sono stati determinati in maniera speditiva tramite la raccolta di dati desumibili da una serie di fotografie scattate durante il sopralluogo nell'area di studio; uno studio approfondito delle tipologie edilizie può migliorare notevolmente l'accuratezza e la verosimiglianza del dato. Si è scelto di definire due rapporti perché in ambito urbano sovente le facciate degli edifici a contatto con gli altri immobili non presentano finestratura o ne presentano una quantità molto minore rispetto alla facciata su strada ed a quella sul retro. Naturalmente in base a questo valore verranno determinate le superfici finestrate degli

edifici da cui largamente dipende il guadagno solare e la perdita di calore per trasmissione; anche DOCET permette di determinare la superficie finestrata inserendo un rapporto al posto dell' effettiva dimensione della finestra.

Stairs L: la lunghezza [m] del perimetro del vano scala a contatto con il volume riscaldato
Stairs bx: è il fattore di correzione per lo scambio termico verso ambienti non riscaldati (prospetto 5, UNI 11300-1).
Si possono legare le forme dei vani scala alla tipologia edilizia ed all'anno di costruzione ma per effettuare questo studio si dovrebbe accedere ad una sufficiente quantità di planimetrie interne degli edifici al fine di definire una regola. Nell'esempio sviluppato il perimetro è stato valutato in maniera standard per ogni edificio che avesse un vano scala, mentre il coefficiente bx è stato ipotizzato dall'osservazione delle facciate degli edifici, che spesso fanno intuire la presenza del vano scala, in base ai sopralluoghi effettuati e prendendo spunto da alcune distribuzioni planimetriche tipiche recuperate in letteratura.
Il Software DOCET, nella sua modalità di certificazione per edificio, effettua ipotesi circa le dimensioni del vano scala; il parametro ha una influenza non trascurabile nel calcolo in quanto, oltre che influire sulle superfici disperdenti, pesa notevolmente sulla superficie utile dell'edificio che determina in larga parte la prestazione unitaria al mq dell'immobile soprattutto negli edifici con una dimensione planimetrica limitata.

Fov angle (Dbl): angolo di ostruzione per aggetti orizzontali, così come definito dalla norma (fig. n°6.4 a)
Ffin angle (Dbl): angolo di ostruzione per aggetti verticali, così come definito dalla norma (fig. n°6.4 b)
Tali angoli permettono sono il valori di input per utilizzare i prospetti semplificati della norma (prospetti D2 e D2, UNI 11300-1) per la valutazione del fattore di ombreggiatura utile al calcolo dell'Irraggiamento solare nelle superfici verticali trasparenti ed opache (Punti 5.3 e 14 della UNI 11300-1). Questo dato di ingresso può essere affinato notevolmente con uno studio dettagliato delle tipologie, rispetto alla presenza e alla dimensione di balconate o schermature verticali. DOCET permette di inserire solo il parametro Fov che assumerà il valore standard di 10°.

Aggetto orizzontale e verticale
Legenda
a) Sezione verticale
b) Sezione orizzontale

a) b)

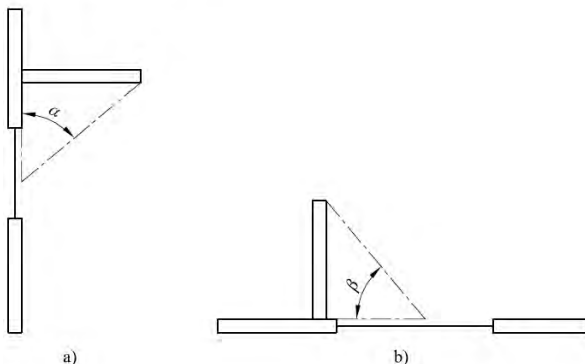



Fig. n° 6.4 angoli di ostruzione per aggetti verticali ed orizzontali (UNI 11300 parte 1)

Cm (short integer): si tratta della capacità termica per unità di superficie dell'involucro [kJ/(mq*K)]; tale valore, fondamentale per il calcolo della costante di tempo termica (punto 15.1 UNI 11300 e 12.2.1.3 UNI EN ISO 1379:2008) può essere riconosciuto speditivamente dal prospetto 16 della norma (fig. n°6.5). Nell'archetipo verrà inserito semplicemente un numero da 1 a 21 che individua le righe della tabella; l'assegnazione del valore in base al numero di piani verrà effettuata nel tool C51.

Capacità termica per unità di superficie di involucro [kJ/(m^2 × K)]

Caratteristiche costruttive dei componenti edilizi				Numero di piani		
Intonaci	Isolamento	Pareti esterne	Pavimenti	1	2	≥3
				Capacità termica areica		
gesso	interno	qualsiasi	tessile	75	75	85
	interno	qualsiasi	legno	85	95	105
	interno	qualsiasi	piastrelle	95	105	115
	assente/esterno	leggere/blocchi	tessile	95	95	95
	assente/esterno	medie/pesanti	tessile	105	95	95
	assente/esterno	leggere/blocchi	legno	115	115	115
	assente/esterno	medie/pesanti	legno	115	125	125
	assente/esterno	leggere/blocchi	piastrelle	115	125	135
	assente/esterno	medie/pesanti	piastrelle	125	135	135
malta	interno	qualsiasi	tessile	105	105	105
	interno	qualsiasi	legno	115	125	135
	interno	qualsiasi	piastrelle	125	135	135
	assente/esterno	leggere/blocchi	tessile	125	125	115
	assente/esterno	medie	tessile	135	135	125
	assente/esterno	pesanti	tessile	145	135	125
	assente/esterno	leggere/blocchi	legno	145	145	145
	assente/esterno	medie	legno	155	155	155
	assente/esterno	pesanti	legno	165	165	165
	assente/esterno	leggere/blocchi	piastrelle	145	155	155
	assente/esterno	medie	piastrelle	155	165	165
	assente/esterno	pesanti	piastrelle	165	165	165

Fig. n° 6.5 Prospetto 16 della UNI 11300 parte 1

6.2.5.5 Gli attributi degli abachi delle strutture edilizie

Gli elementi costruttivi della struttura edilizia sono inseriti nel data base riportando direttamente le caratteristiche fisiche di interesse al calcolo riferite all'elemento nel suo complesso, ossia, salvo alcuni casi, non verrà dato rilievo alle proprietà fisiche dei singoli materiali che compongono l'elemento, quali i diversi strati di un paramento murario, ma se ne utilizzerà direttamente il valore totale.

Gli elementi sono divisi nelle seguenti categorie: murature esterne; murature verso vani interni, ossia nel nostro caso verso i vani scala; finestre; solai contro terra; chiusure esterne di base; solai di base che danno all'esterno o a vani non riscaldati; coperture a falda; coperture orizzontali; chiusure interne orizzontali, solai di interpiano da utilizzare come base nel caso si considerino separatamente i locali ad uso commerciale[11].

Le categorie possiedono un elemento per ogni periodo di costruzione e contengono attributi simili:

Elemento ID (String): un codice che identifica univocamente l'elemento (chiave) anche nell'insieme di tutte le categorie. Nell'attuale implementazione della procedura questo valore non ha nessun ruolo se non quello di facilitare le operazioni di aggiornamento del data base delle strutture.

Periodo di costruzione (string): il periodo in cui con estrema probabilità il tipo di elemento veniva utilizzato. Esso deve coincidere con la divisione dei periodi proposta per gli archetipi.

Nella procedura sviluppata è possibile avere un solo elemento costruttivo per periodo di costruzione e per ogni periodo di costruzione dovrà essere presente un record anche nel caso questo fosse una ripetizione di uno già inserito. Nell'algoritmo proposto, il valore è quello utilizzato per richiamare durante i vari step della procedura gli attributi degli elementi costruttivi necessari al calcolo. Questa limitazione potrebbe essere superata in una successiva implementazione del metodo utilizzando *Elemento ID* per richiamare gli attributi degli elementi costruttivi durante il calcolo, ma ciò aumenterebbe la complessità della definizione degli archetipi o dei dati di input manuali.

Descrizione (string): sintetica descrizione dei materiali che costituiscono l'elemento, alla quale potrebbero anche essere associati degli schemi grafici

*Trasmittanza U[W/(mq*K)] (Dbl)*: valore già complessivo di tutte le caratteristiche termiche dei materiali presenti nella stratigrafia; nel caso sviluppato sono tratti dagli abachi della norma utilizzabili per calcoli in regime standard. La trasmittanza delle finestre deve essere inserita già considerando un valore medio delle

[11] Questa possibilità non è stata ancora implementata nella procedura, ma l'abaco dell'elemento costruttivo è già stato preparato per il futuro aggiornamento.

sue componenti; nel caso sviluppato, in mancanza di dati specifici, si è scelto di calcolare la trasmittanza delle finestre con la procedura semplificata proposta dalla norma considerando per tutte un telaio in legno a vetro singolo. Naturalmente rimane sempre possibile un maggiore dettaglio nel calcolo delle trasmittanze utilizzando informazioni più precise riguardo ai materiali e alla stratigrafia.

Ponti termici (Dbl): percentuale di incremento del valore di trasmittanza per l'influenza dei ponti termici, solo per pareti perimetrali e coperture ricavato dal prospetto 4 della norma; tale valutazione forfettaria è possibile solo perché siamo in regime di calcolo standard.

*Trasmittanza corretta U[W/(mq*K)] (Dbl):* trasmittanza corretta con l'influenza dei ponti termici; questo è il valore effettivamente utilizzato nel calcolo (fig. n°6.6).

Maggiorazioni percentuali relative alla presenza dei ponti termici [%]

Descrizione della struttura	Maggiorazione[11)]
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) senza aggetti/balconi e ponti termici corretti	5
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) con aggetti/balconi	15
Parete omogenea in mattoni pieni o in pietra (senza isolante)	5
Parete a cassa vuota con mattoni forati (senza isolante)	10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico corretto)	10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico non corretto)	20
Pannello prefabbricato in calcestruzzo con pannello isolante all'interno	30

Fig. n°6.6 Prospetto 4 della UNI 11300 parte 1

Spessore [m]: nella procedura di calcolo proposta viene utilizzato solo lo spessore dei muri esterni, ma in una successiva implementazione gli spessori potrebbero essere utilizzati per il calcolo analitico delle superfici utili e del volume netto riscaldato.

Emissività (Dbl): parametro relativo alla radiazione termica ad elevata lunghezza d'onda, utile al calcolo dell'extraflusso termico (tool C12), generalmente per materiali da costruzione si assume il parametro 0,9.

Fattore di assorbimento solare dei componenti opachi (dbl): dipende dal colore della superficie esterna (chiaro = 0,3; medio = 0,6; scuro = 0,9); nell'algoritmo proposto il colore delle murature viene inserito interattivamente per ogni edificio durante la fase di input dei dati (tool A3), mentre il valore riferito alle coperture viene inserito negli abachi.

Negli abachi delle finestre sono inseriti anche altri valori funzionali al calcolo dei guadagni solari:

Ff = fattore di riduzione dell'area trasparente per la presenza del telaio della finestra, impostato a 0,8

Ggl = trasmittanza di energia solare, desunto dal prospetto 13 della norma e moltiplicato per un fattore di esposizione di 0,9; nel nostro caso impostato per tutti a vetro singolo 0,85*0,9 =0,765

Gglsh = fattore di riduzione per l'uso delle schermature mobili, ossia il rapporto tra la trasmittanza di energia solare della superficie vetrata durante l'uso della schermatura e Ggl.

6.2.6 Altri dati di ingresso strutturati

Gli altri dati di input per la valutazione standard sono: i dati climatici[12], temperature medie mensili, irradianza media mensile sul piano orizzontale e sui piani verticali a seconda dell'orientamento azimutale; i fattori di riduzione degli apporti solari per l'ombreggiamento a seconda dell'orientamento della superficie e del tipo di schermatura[13] e la durata della stagione di riscaldamento[14]. Inoltre tra i dati di partenza è stata inserita anche una serie di tabelle utili all'esecuzione della metodologia principalmente tratte dai prospetti della norma.

I dati di input necessari (tab. n°6.4) derivano in larga parte da prospetti ed elenchi presenti nella normativa tecnica italiana, mentre quelli relativi alle mappe ed alle caratteristiche tipologiche del patrimonio edificato, pur mantenendo un certo livello informativo minimo, devono essere definiti in maniera specifica per ogni contesto.

Dato	formato	fonte
Temperature medie mensili delle provincie italiane	Dbf	UNI 10349
Irraggiamento medio giornaliero mensile su superfici orizzontali e verticali, nelle provincie italiane	Dbf	UNI 10349
Dati climatici dei comuni, gradi giorno, zona climatica, altitudine e provincia	Dbf	UNI 10349
Prospetti mensili D1 per il calcolo del fattore di ombreggiamento per ostruzioni esterne, Fhor	Dbf	UNI 11300
Prospetti mensili D2 per il calcolo del fattore di ombreggiamento per aggetti orizzontali, Fov	Dbf	UNI 11300
Prospetti mensili D3 per il calcolo del fattore di ombreggiamento per aggetti verticali, Ffin	Dbf	UNI 11300
Prospetto 15 per la determinazione del fattore di riduzione per schermature mobili, Fsw	Dbf	UNI 11300
Prospetto 16 per la determinazione della Capacità termica aerica superficiale, Cm	Dbf	UNI 11300
Fattori di correzione Bx per i solai di base, elaborazione dei Prospetto 6 riferito allo scambio termico col terreno e il Prospetto 5 riferito allo scambio termico con aree non riscaldate	Dbf	UNI 11300
Prospetto 4, determinazione della influenza dei ponti termici	Dbf	UNI 11300
Prospetto 3, stagione di riscaldamento	Dbf	UNI 11300
Archetype	Dbf	
Abachi degli elementi costruttivi	Dbf	
BaseMap e ContextMap	Shp	NCEU altro
Attributi relativi alle unità immobiliari (n° unità, uso, identificativo catastale, ..)	Dbf	NCEU

Tab n°6.4 elenco dei dati di input con la fonte ed il loro formato

[12] Riportati nella norma UNI 10349, nel sito dell'ENEA sono disponibili anche dei dati climatici aggiornati con rilevazioni più recenti ma noi abbiamo utilizzato quelli presenti nella norma.

[13] Prospetti D1 (Fhor, ostruzioni esterne) D2 (Fov, aggetti orizzontali) D3 (Ffin, aggetti verticali) della norma UNI 11300 parte 1

[14] Prospetto 3 della UNI 11300 parte 1

6.2.7 Input manuale dei dati

Come abbiamo già accennato, la metodologia ha bisogno anche di un certo numero di dati che devono essere assegnati manualmente a partire dall'osservazione della cartografia e da informazioni raccolte in attività di studio e tramite sopralluogo; tali dati permettono sia di legare la parte cartografica ai dati tabellari (archetipi, abachi, dati climatici, ecc) che di inserire informazioni non comprese nel data base di partenza.

Lo studio di metodi e tecnologie più efficienti per l'acquisizione dei dati mancanti è sicuramente una delle questioni irrisolte di questo tipo di modelli: CitySim e SunTool (Robinson 2007, 2009) necessitano dell'inserimento manuale di informazioni sia per assegnare la tipologia edilizia e l'anno di costruzione, che definiscono le caratteristiche fisiche dell'involucro dei volumi rappresentanti il patrimonio edificato, che per impostarne le zone termiche. Lo strumento più semplificato SEP (M. Rylatt 2001, 2003) richiede all'utente di assegnare ai poligoni la tipologia edilizia ed il probabile anno di costruzione e di specificare con un segno grafico la posizione e l'orientamento del tetto per il calcolo del potenziale solare termico e fotovoltaico. La mancanza di dati spaziali completi alla scala del singolo edificio rende necessario un algoritmo manuale, o in qualche modo standardizzato secondo alcune ipotesi, che assegni un "tipo" predefinito di attributi ad ogni edificio e che colmi le eventuali mancanze di informazioni necessarie alla esecuzione della procedura. Al diminuire della scala, o quando addirittura la dimensione spaziale sia assente, tali operazioni di input manuale possono essere evitate o particolarmente limitate come si evince dalle esperienze di Shimoda (2007) e Girardin (2009). Nel nostro caso la metodologia produce risultati con una scala di maggiore dettaglio rispetto ai dati di partenza disponibili relativi al patrimonio edificato: cioè la metodologia effettuerà il calcolo standard della UNI 11300 per ogni edificio: perciò i dati di input che non potranno essere ragionevolmente ricondotti ad un ragionamento per tipi dovranno essere forniti edificio per edificio. Le tecniche per acquisire tali dati mancanti sono sicuramente un'altra delle questioni aperte sottolineate da questo studio, ma non sarà affrontata in questa sede. Noi ci limiteremo ad individuare i dati minimi sono necessari per eseguire il calcolo ed a fornire un toolset che possa guidare nell'implementazione manuale degli stessi. Naturalmente per dati di tipologia diversa si dovranno approntare tools specifici; nel nostro caso si è ipotizzato di non avere a disposizione dati raffinati riguardo il patrimonio edificato e di dover condurre lo studio con i mezzi semplici e a basso costo quali carte tecniche digitali, immagini satellitari o aeree comunemente disponibili o attività di sopralluogo.

Il primo toolset "*A_input data*" permette all'utente di assegnare in maniera iterativa, selezionando uno o più elementi, alcuni valori ai poligoni che rappresentano il perimetro degli edifici. Si specifica che i tools del toolset A sono gli unici ad avere bisogno dell'inserimento di dati da parte dell'operatore; i tools successivi dovranno semplicemente essere eseguiti secondo il loro ordine numerico (fig. n° 6.7): Il tool A1 prepara i campi necessari all'inserimento dei dati e alcuni campi funzionali all'esecuzione del calcolo; il tool

A2 acquisisce in input la località (provincia e comune) e seleziona dal data base dei dati climatici italiani quelli da utilizzare successivamente per il calcolo; il tool A3 faciliterà l'inserimento manuale dei dati ed il tool A4 effettua calcoli preliminari sui dati di input della metodologia di calcolo della norma. L'operatore quindi osserverà i dati dalle fonti disponibili e li assegnerà utilizzando l'interfaccia di esecuzione del tool (fig. n°6.8); tale attività, per quanto ripetitiva e sicuramente dispendiosa in termini di tempo nel caso di grandi città, può essere svolta in maniera speditiva selezionando gruppi di edifici aventi le stesse caratteristiche.

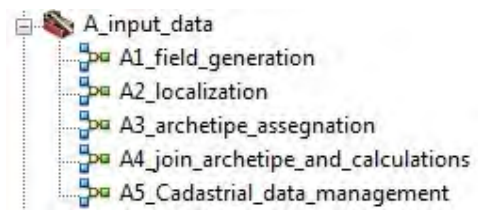



Fig. n°6.7, toolset A

.

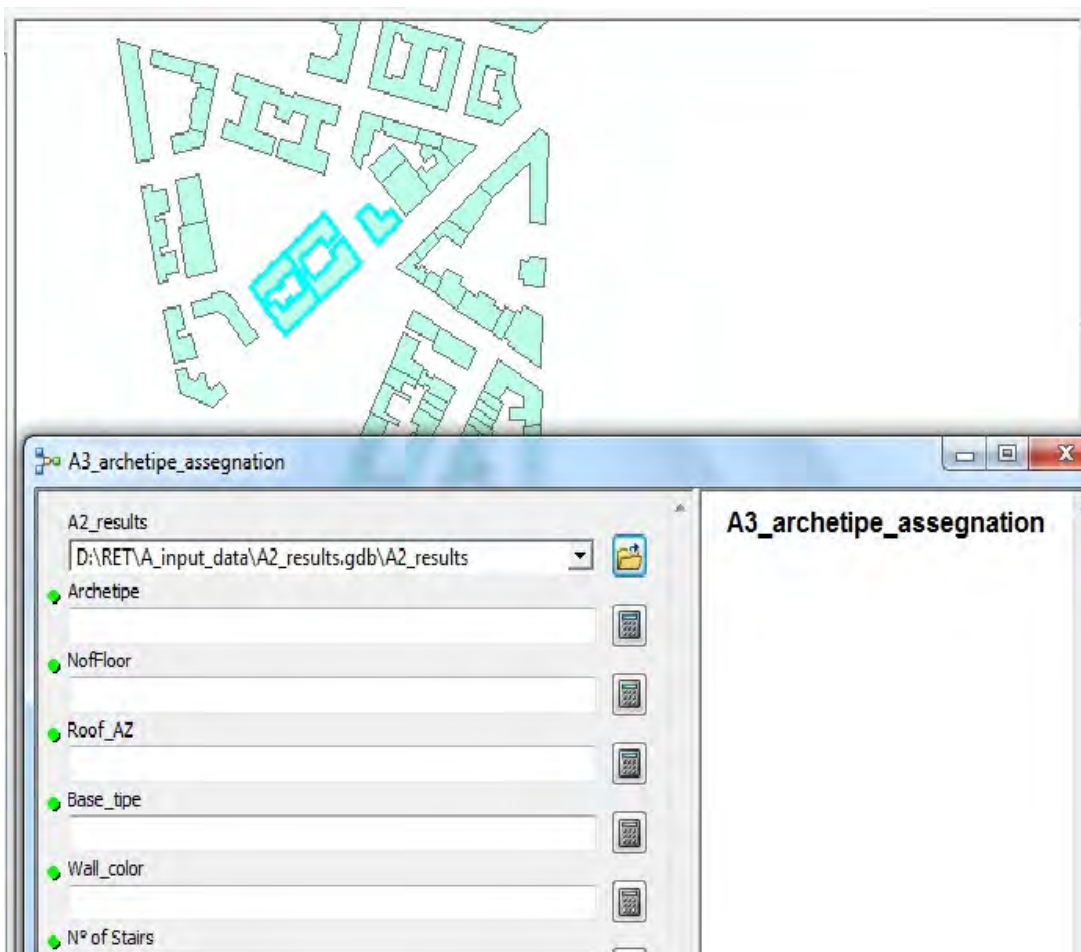



Fig. n°6.8, interfaccia di inserimento dei dati del tool A3

I dati che devono essere forniti manualmente sono:

Provincia e comune in cui si trova l'area di studio (string): tali input permettono di selezionare i dati climatici di interesse dal data base completo riferito a tutta l'Italia riguardo a: irraggiamento solare, temperature medie mensili, fattori di ombreggiamento, gradi giorno. Attualmente il toolset può

essere applicato a tutte le principali città Italiane ma non è ancora implementato per l'interpolazione dei dati climatici per i centri minori (UNI 8477-1).

L'archetipo (string): si assegna ad ogni poligono "l'archetipo" dell'edificio, in base al quale si determineranno molti dei parametri di ingresso del calcolo quali ad esempio la superficie finestrata e l'anno di costruzione ed altre caratteristiche di tipo geometrico. In particolare l'anno di costruzione identifica la tipologia di elementi costruttivi che verranno utilizzati nel calcolo.

Il numero di piani dell'edificio (short integer): l'altezza dell'edifico viene calcolata moltiplicando il numero di piani, assegnato ad ogni poligono, ricavato dall'osservazione della cartografia con l'altezza media dei piani inserita tra i dati che definiscono l'archetipo.

Il tipo di copertura, con il relativo orientamento (dbl), si assegnerà ad ogni poligono la direzione azimutale (0°-360° partendo da nord) della normale alla falda principale, stimata in maniera speditiva dalle ortofoto, se la copertura è piana si inserirà il valore -1. Ai fini del calcolo standard del fabbisogno energetico la direzione azimutale non è rilevante; servirà solo a distinguere tra i differenti Abachi delle strutture di copertura (orizzontali o inclinate). Si è deciso di inserire un dato di questo tipo, in luogo di un semplice booleano, perché è una informazione importante in sede di definizione del potenziale dell'energia solare; quindi si assegnerà la direzione della falda che può essere più favorevolmente utilizzata a tale scopo.

Il tipo di basamento dell'edificio (short integer), tale parametro, tramite l'osservazione di foto aeree o dati ricavabili da speditivi sopralluoghi, assegna ad ogni poligono un codice numerico rappresentante il tipo di chiusura di base (tab. n°5). Il valore è importante perchè determina sia il tipo di struttura da utilizzare nel calcolo che i parametri di riduzione relativi alla sua zona confinante.

btrx	Codice	Descrizion
0,45	1	pavimento controterra
0,8	2	pavimento su vespaio areato
0,5	3	seminterrato senza finestre
0,8	4	seminterrato con finestre o aperture esterne
1	5	Piano pilotis
0	6	Locale commerciale, riscaldato
0,5	7	locale artigianale non o debolemente riscaldato
0,8	8	Locale non riscaldato > 3 lati esterni
0,6	9	Locale non riscadato 2 lati esterni

Tab n°6.5 tipologie di chiusure di base, con i codici ed i fattori di riduzione della perdita di calore per trasmissione assegnati secondo i prospetti 5 e 6 della UNI 11300 parte 1

Il colore della finitura esterna dei paramenti murari (dbl): in accordo con quanto suggerito dalla NORMA (punto 5.3 formula 14) si richiede di digitare, per ogni edificio, il valore del fattore di assorbimento solare del componente opaco che cambia in funzione del colore della finitura esterna (0,3 chiara; 0,6 medio; 0,9 scuro). Se vi sono più colori si inserirà il valore relativo a quello preponderante.

Numero di vani scala (short integer), alcuni edifici possiedono più di un vano scala; tale caratteristica è facilmente osservabile tramite un sopralluogo o ipotizzabile in funzione della dimensione planimetrica del poligono. L'assegnazione del numero di vani potrebbe essere un dato regolato da uno studio tipologico sulle disposizioni planimetriche degli edifici: in questo caso l'assegnazione potrebbe essere effettuata in maniera automatica in base ad uno specifico parametro inserito nell'archetipo ed all'area del poligono.

il numero di piani utilizzati per attività non residenziali ma riscaldate (short integer)„ si tratta del numero di piani dell'edificio, a partire dal piano terra, che possono essere facilmente riconoscibili durante il sopralluogo come utilizzati per attività non residenziali quali attività commerciali o uffici che si svolgono in ambienti riscaldati.

Il numero di piani utilizzati per attività non residenziali non riscaldati (short integer)„ si tratta del numero di piani dell'edificio, a partire dal piano terra, che possono essere facilmente riconoscibili durante il sopralluogo come utilizzati per attività non residenziali quali laboratori o parcheggi che si svolgono in ambienti non riscaldati.

Tali dati di input permettono una grossolana eliminazione dei volumi riscaldati non afferenti alla residenza in quanto non si hanno informazioni riguardo gli usi diversi che eventualmente si trovassero ai piani superiori. La procedura è in grado di essere eseguita anche senza considerare questi dati, escludendo solo il piano terra dal calcolo a seconda del tipo di chiusura di base assegnata (tab n°6.5) riducendo così i dati di input manuali necessari, ma limitando la precisione della stima.

Numero di piani attico (short integer): tale parametro definibile dall'osservazione delle aereofoto definisce il numero di piani, a partire dall'ultimo, che si non si sviluppano su tutto il poligono di base. Tale parametro influisce solo nel calcolo dei volumi riscaldati e delle superfici utili in quanto il considerare alcuni livelli in arretramento rispetto alla pianta dell'edificio non fa variare le superfici disperdenti. Nei tool sviluppati è stata considerata una diminuzione del 30% della superficie, ma tramite uno studio accurato delle tipologie tale valore potrebbe essere inserito nella definizione

dell'archetipo. Anche in questo caso la procedura è in grado di essere eseguita senza questo parametro.

Alcune caratteristiche geometriche dell'edificio sono ricavate direttamente in questo toolset (tool A4) combinando la forma del perimetro esterno dell'edifico ed i dati inseriti dall'utente

Altezza dell'edificio: Building_h = n_floor* Avh

Con:

n_floor = numero di piani fuori terra, inserito dall'operatore per ogni edificio

Avh = altezza media dell'interpiano, definita per archetipo

Volume lordo dell'ambiente climatizzato:

Vl=AVh*((n_foor-n_comm- n_attico)*Aft + n_attico* 0,7*Aft))

Con:

Vl = volume lordo climatizzato, utilizzato per usi residenziali

Aft = area del poligono rappresentante il perimetro dell'edifico

n_floor = numero di piani fuori terra, inserito dall'operatore per ogni edificio

n_comm= numero di piani utilizzati ad altri fini, inserito dall'operatore per ogni edificio

n_attico= numero di piani attico

Avh = altezza media dell'interpiano, diversa per archetipo

Il volume netto climatizzato si è ricavato dal volume lordo utilizzando dei Fattori di correzione (prospetto 7, punto 12.2 UNI 11300-1) in funzione della categoria dell'edificio e dello spessore della muratura (tab. n°6)

Categoria di edificio[13)]	Tipo di costruzione	
E.1, E.2, E.3, E.7	Pareti di spessore maggiore di 45 cm	Pareti di spessore fino a 45 cm
	0,6	0,7
E.4, E.5, E.6, E.8	Con partizioni interne	Senza partizioni interne
	0,8	0,9

Tab. n° 6.6 Fattori proposti dalla determinazione del volume netto climatizzato

Superficie Utile o area climatizzata

Anche in questo caso ci si è riferiti alla valutazione semplificata proposta dalla norma (punto 13.3, norma UNI 11300-1) che definisce un fattore di correzione in funzione dello spessore delle pareti

AvSurf=(0,9761-0.3055*dm)*Aft *((n_foor-n_comm- n_attico)+0,7*n_attico)

Con:

AvlSurf = Area climatizzata o superficie utile

Aft = area del poligono rappresentante il perimetro dell'edifico

n_floor = numero di piani fuori terra, inserito dall'operatore per ogni edificio

n_comm= numero di piani utilizzati ad altri fini, inserito dall'operatore per ogni edificio

n_attico= numero di piani attico

dm = spessore della muratura [m]

Il software DOCET calcola le superfici utili, i Volumi riscaldati e le superfici di dispersione utilizzando gli spessori effettivi delle murature (o meglio quelli presenti negli abachi della norma) uno spessore standard di 0,3m per i solai e sottraendo l'area ipotizzata del vano scala. Si è scelto perciò di implementare in RET anche la determinazione delle superfici utili in base alla caratteristiche geometriche dell'edificio:

$$USurf= (Aft - (Pp - Stairs\ L) * dm_1 - Stairs\ L * dm_2 - Stairs\ A) * (n_foor - n_comm - n_attico) +$$
$$(0{,}7 * Aft - (Pp - Stairs\ L) * dm_1 - Stairs\ L * dm_2 - Stairs\ A) * n_attico$$

Con:

USurf = Area climatizzata o superficie utile, RETs

Aft = area del poligono rappresentante il perimetro dell'edificio

Pp = perimetro del poligono rappresentante l'edificio

Stairs L = Perimetro ipotizzato di contatto tra il vano scala e l'ambiente riscaldato, inserito nell'Archetype

n_floor = numero di piani fuori terra, inserito dall'operatore per ogni edificio

n_comm= numero di piani utilizzati ad altri fini, inserito dall'operatore per ogni edificio

dm_1 = spessore della muratura esterna[m] preso dagli abachi

dm_2 = spessore della muratura interna [m], preso dagli abachi

Stairs A = viene ipotizzato in funzione del perimetro, uno studio più specifico delle distribuzioni planimetriche interne delle tipologie potrebbe fornire un dato più accurato da inserire nella definizione dell'archetipo. Nella procedura attuale l'area è stata definita in maniera standard con la seguente

$$Stairs\ A = (1/3\ Stairs\ L) * (2/3\ Stairs\ L)$$

6.2.8 Determinazione delle caratteristiche geometriche

La norma (punto 6, norma 11300) richiede, ai fini del calcolo del fabbisogno energetico che siano note le caratteristiche geometriche di ogni superficie disperdente (tab. n°6.7). Tali caratteristiche vengono ricavate, senza necessità di inserire nuovi dati, con l'aiuto del toolset "B_

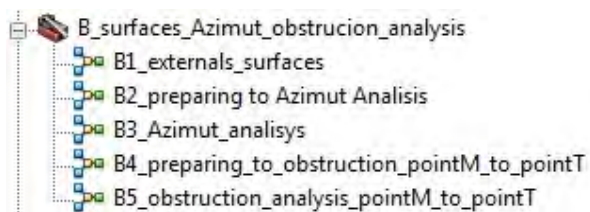



Fig. n°6.9, articolazione del toolset B

surfaces_Azimut_obstruction_analysis" il quale, partendo dalla forma del perimetro esterno dell'edificio ed utilizzando i dati già inseriti nel data base, è in grado di ricavare: superficie disperdente [mq]; orientamento azimutale [0-360° da nord]; angolo di ostruzione alfa [0-90°][15]. I tools dovranno essere eseguiti tramite l'interfaccia del Model Builder nel loro ordine cardinale in quanto i risultati dei primi sono la base dei calcoli dei successivi.

elementi	Caratteristica geometrica	tool
Superfici murarie esterne Superfici finestrate Superfici verso vani scala	Calcolo delle superfici disperdenti [mq]	B1
Superfici murarie esterne Superfici finestrate	Orientamento Azimutale delle superfici disperdenti	B2, B3
Superfici murarie esterne Superfici finestrate	Angolo di ostruzione per elementi esterni di ogni superficie disperdente	B4,B5

Tab. n° 6.7, Tools per ricavare le superfici disperdenti e le caratteristiche necessarie al calcolo

6.2.8.1 Calcolo delle superfici disperdenti (tool B1)

La superficie disperdente è quella parte dell'involucro che divide il volume riscaldato da zone termiche di temperatura diversa (vani scala, scantinati) o dall'esterno; non vengono considerate superfici disperdenti quelle che mettono a contatto diverse zone termiche riscaldate anche se appartenenti a diversi edifici. Ossia sono superfici disperdenti le coperture, i basamenti, le chiusure esterne verticali se non confinano con altre zone termiche riscaldate. Tale semplificazione è in accordo con le ipotesi semplificative introdotte: se le zone termiche a contatto sono riscaldate, per ipotesi, queste hanno la medesima temperatura e perciò non danno origine a fenomeni di trasmissione del calore non influendo nel calcolo del fabbisogno dell'edificio. In prima battuta il perimetro esterno del poligono che rappresenta un edificio isolato può essere considerato coincidente con la superficie disperdente, ma in ambito urbano questo di norma non accade: gli edifici sono addossati l'un all'altro e possiedono diverse altezze perciò la superficie disperdente può essere notevolmente diversa dal semplice perimetro del poligono moltiplicato per l'altezza dell'edificio. Il rapporto tra superficie disperdente e volume riscaldato è uno dei principali indici che riassume il comportamento termico dell'involucro ed è utilizzato per assegnarne la "classe" della Certificazione Energetica: mentre le caratteristiche costruttive ed i materiali utilizzati sono spesso costanti e riconoscibili per periodo di costruzione e zona della città, il rapporto S/V presenta una variabilità superiore che può determinare prestazioni termiche molto differenti anche per edifici con simili caratteristiche costruttive. Per cercare di dare rilievo a questa variabilità della superficie disperdente si è scelto di definire alcune caratteristiche attraverso un approccio tipologico e di calcolarne altre per ogni edificio partendo dal poligono che ne rappresenta il perimetro.

[15] L'angolo di ostruzione per elementi esterni, così come definito dalla norma (punto 14.4 figura 6 UNI 1300-1)

Dopo aver calcolato le superfici esterne partendo dai perimetri e dall'altezza degli edifici, si useranno i "*glazing ratio*" ed il perimetro del vano scala, inseriti nell'Archetype, per ottenere la misure delle singole superfici disperdenti per ogni facciata. L'uso del *glazing ratio* e di un parametro forfettario per la stima della superficie disperdente verso il vano scala, è giustificato oltre che da numerosi casi di studio nazionali e non, anche dallo stesso DOCET che permette questo tipo di input dei dati, pur lasciando la possibilità di un inserimento più dettagliato.

Il tool B1 "*Externals Surfaces*"

I dati posseduti fino ad ora sono riferiti al poligono che rappresenta l'edificio ossia: area, perimetro, coordinante dei vertici, altezza calcolata in base all'input manuale del n° dei piani. Per quanto riguarda le superfici disperdenti di copertura e di base si utilizzerà semplicemente l'area del poligono mentre per quelle verticali sarà necessario definire innanzitutto se i segmenti che costituiscono il perimetro dell'edificio corrispondono ad una superficie esterna, e quindi disperdente, o interna.
A tal scopo il tool B1 combina i tools[16] "*Feature to line*" con il tool "*polygon to line*" rendendo possibile confrontare le altezze degli edifici adiacenti e definire se il segmento è esterno oppure no.

$$DH = n_floor_a * Avh_a - n_floor_b * Avh_b$$

Con:

DH: differenza tra le altezze degli edifici adiacenti, se questa è negativa o nulla non si ha superficie esterna

n_floor_a = numero di piani fuori terra dell'edificio a cui appartiene il segmento

Avh_a = altezza media dell'interpiano dell'edificio a cui appartiene il segmento

n_floor_b = numero di piani fuori terra dell'edificio adiacente

Avh_b = altezza media dell'interpiano dell'edificio adiacente

A questo punto si avrà uno shape lineare dove per ogni record si può calcolare la superficie esterna come moltiplicazione della lunghezza del segmento con la differenza tra l'altezza dell'edificio a cui esso appartiene e quello adiacente.

$$exsurface = (DH-* n_comm*Avh)* (lunghezza\ segmento)$$

con:

exsurface = superficie esterna della facciata

DH = differenza tra le altezze degli edifici adiacenti

n_comm = numero di piani utilizzati ad altri fini

[16] I tools sono comunemente contenuti nelle versioni full licence di ArcMap 10 nel toolbox *Data management tools/features*: "*Feature to line*", ricava da ogni segmento del perimetro degli SHP poligonali uno SHP lineare ai quali assegna ad ogni record gli attributi del poligono originale; "*polygon to line*", effettua la medesima trasformazione ma perde gli attributi originali inserendo però un identificativo dei poligoni con il quale il segmento confina.

Avh = altezza media dell'interpiano, dell'edificio a cui appartiene il segmento

Per ogni segmento, ossia per ogni facciata, si calcola la superficie finestrata utilizzando l'appropriato glazing ratio e quella muraria esterna come differenza tra tutta la superficie esterna e quella finestrata.

WindSurf = exsurface * main/secondary glazing ratio

Wallsurface = exsurface - WindSurf

Con:

WindSurf = superficie finestrata della facciata

WallSurface = superficie opaca esterna, tale valore è riferito alle facciate e non tiene conto della presenza del vano scala che ridurrebbe la superficie disperdente

main glaze ratio = superficie finestrata delle facciate principali, ossia quelle che non hanno edifici confinanti

secondary glaze ratio = superficie finestrata delle facciate secondarie, quelle con edifici confinanti

A questo punto i dati di ogni facciata vengono riaggregati secondo l'edificio di appartenenza utilizzando il codice identificativo rimasto negli attributi (nel nostro caso la particella catastale) ottenendo il dato aggregato di superficie finestrata e superficie muraria esterna alla quale verrà poi sottratta una quota di quella del vano scala.

Per calcolare la superficie disperdente verso il vano scala si moltiplica il perimetro del vano scala, fornito nell'archetipo per l'altezza dell'edificio; tale valore è riferito a tutto l'edificio a prescindere all'effettiva posizione del vano scala stesso. Naturalmente, così come suggerisce il software DOCET, si potrebbe implementare anche un parametro di orientamento ma ciò appesantirebbe la fase dell'ingresso manuale dei dati.

Wallint: StairsL*(building_h- n_comm)

con:

Wallint = superficie disperdente verso il vano scala

Stairs_L= perimetro medio del vano scala verso la zona riscaldata, fornito per ogni archetipo

Building_h = altezza dell'edificio calcolata precedentemente

n_comm= numero di piani utilizzati ad altri fini

Perciò si potranno facilmente ottenere utilizzadno il tool[17] "*summary statistics*" le superfici disperdenti che verranno utilizzate per il calcolo in diverse occasioni. Gli attributi verranno poi aggiunti con un'operazione di join al file poligonale degli edifici.

---

[17] Il tool è sempre disponibile, in ArcMap 10 si trova nel toolbox Analysis tool/Statistics/

Windows = ∑ WindSurf Somma delle superfici finestrate

Exsurf = ∑ exsurface Somma delle superfici esterne o disperdenti

Wallex = ∑ Wallsurface - 0,5* Wallint Superficie muraria esterna

Con

Wallint = superficie disperdente verso il vano scala

WindSurf = superficie finestrata della facciata

WallSurface = superficie opaca esterna, tale valore è riferito alle facciate e non tiene conto della presenza del vano scala

Nel tool la superficie del vano scala è sottratta a quella esterna con un coefficiente di 0,5 perché si suppone che solo una parte del vano scala abbia diretti contatti con l'esterno. Una migliore definizione di questo parametro potrà essere ottenuta effettuando uno studio delle diposizioni planimetriche più comuni a seconda dell'archetipo che permetta di definire con maggiore articolazione il perimetro del vano scala e le pareti del vano scala che si affacciano all'esterno.

I risultati di questo tool sono due (tab. n°6.8): il primo consiste in un file shp lineare che per ogni segmento individua la superficie esterna e quella finestrata; il secondo consiste in una riaggregazione delle superfici per edificio originario in modo da avere una somma di tulle le diverse superfici disperdenti (muraria, finestrata, verso vano scala) registrata in una tabella. Il file lineare sarà la base per determinare le direzioni azimutali ed il fattore di ostruzione da schermature esterne (tools B2, B3, B4, B5) di ogni facciata, mentre quello poligonale sarà un input per il calcolo delle dispersioni per trasmissione (tool C11).

File lineare: ogni segmento è una facciata dell'edificio	*File poligonale: ogni poligono rappresenta l'edificio*
Superficie opaca della facciata	Somma delle superfici finestrate
Superficie finestrata della facciata	Superficie muraria esterna
Superficie esterna o disperdente della facciata	Superficie verso il vano scala
	Somma delle superfici esterne o disperdenti

Tab. n° 6.8, risultati del tool B1

6.2.8.2 Orientamento Azimutale delle superfici disperdenti (tools B2 e B3)

Partendo dal file lineare ottenuto precedentemente, per ogni segmento esterno viene calcolata la direzione azimutale della normale alla superficie, espressa in gradi sessagesimali da 0 a 360° partendo da Nord. È già presente negli strumenti GIS un plug-in capace di calcolare la direzione normale ad un segmento ma il risultato non tiene conto del fatto che la retta normale deve trovarsi nel centro del segmento e che deve andare verso l'esterno dell'edificio. Perciò si è deciso di sviluppare un tool specifico in ambiente Model Builder (tool B2 e B3) capace di ottenere il dato calcolando la direzione del vettore che parte dal centro del segmento ed interseca un punto di coordinate note ad esso perpendicolare. Tale punto è stato ricavato eseguendo prima un "*buffer*" sul perimetro dell'edificio, per avere dei punti sicuramente esterni

allo stesso, e poi i tools[18] "*split line at vertices*" e "*Feature vertices to point*" per individuare i punti ortogonali ai segmenti esterni come i punti medi dei segmenti ricavati dai buffer (fig. n°6.10).

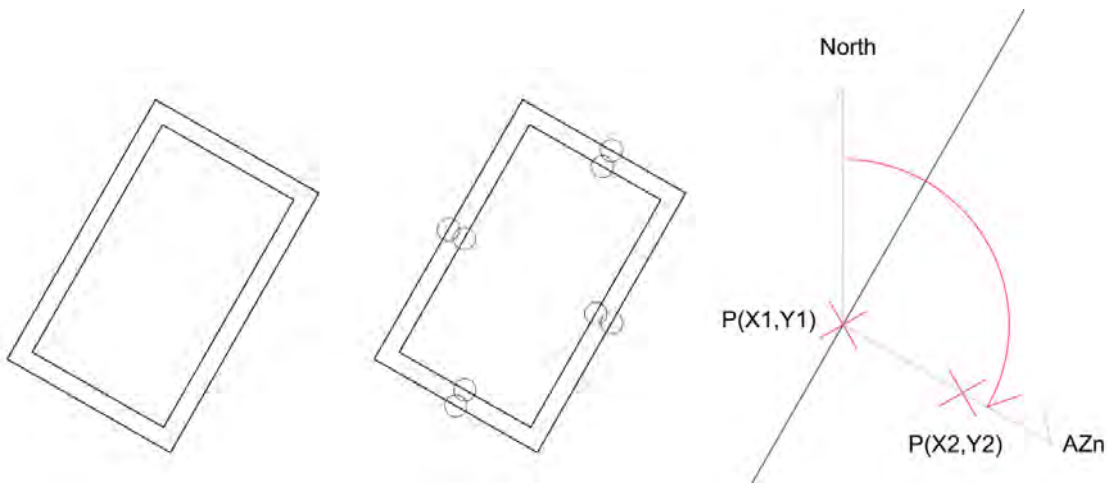



Fig n°6.10 Buffer del poligono, scelta dei punti medi dei segmenti e calcolo dell'angolo AZn tra la retta P1P2 e quella verticale passante per P1.

Dal punto di vista matematico si tratta di un semplice problema di geometria analitica, note le coordinate (X,Y) dei punti P1 e P2:

il primo passo consiste nell'effettuare una traslazione degli assi in modo da mettere l'origine in P1 ed ottenere le nuove coordinate di P2 (Px, Py).

Px = X2-X1 Py = Y2-Y1

Ora semplicemente si effettua un cambio di base passando da un sistema cartesiano ad uno polare definito dalla distanza del punto dal centro e dall'angolo tra una direzione di origine e il segmento che unisce il punto all'origine.

= $(Px^2 + Py^2)$^1/2 = arcsen (Py/)

Infine per ricavare l'angolo AZn cosi come definito basterà spostare l'origine di in modo che coincida col nord, si avranno due casi:

Se Px > 0 allora AZn = 90 –F

Se Px <=0 allora AZn = 270 +F

[18] I tools "*Buffer*" si trova nel box Analysis tool/Proximity mentre *"split line at vertices" e "Feature vertices to point"* sono comunemente contenuti nelle versioni full licence di ArcMap 10 nel toolbox *Data management tools/features*: "*Buffer*", quando eseguito su un poligono produce un altro poligono dove il perimetro si allargato verso l'esterno di una distanza prefissata (nel nosto caso 0,5m); "*split line at vertices*", ricava da ogni segmento del perimetro degli SHP poligonali uno SHP lineare ai quali assegna ad ogni record gli attributi del poligono originale; "*Feature vertices to point*", permette di estrarre punti finali e medi dei segmenti.

Una volta ottenuto il valore sessagesimale della direzione normale, utilizzando iterativamente il tool[19] "*select Layer by attribute*" per la selezione dei record in funzione dei valori presenti nei campi, si è inserita anche la direzione azimutale semplificata nelle otto principali, che risulterà utile nel calcolo e nella visualizzazione dei risultati: nord, nord est, nord ovest, est, ovest, sud est, sud ovest e sud (fig. n°6.11, n°6.12, n°6.13).

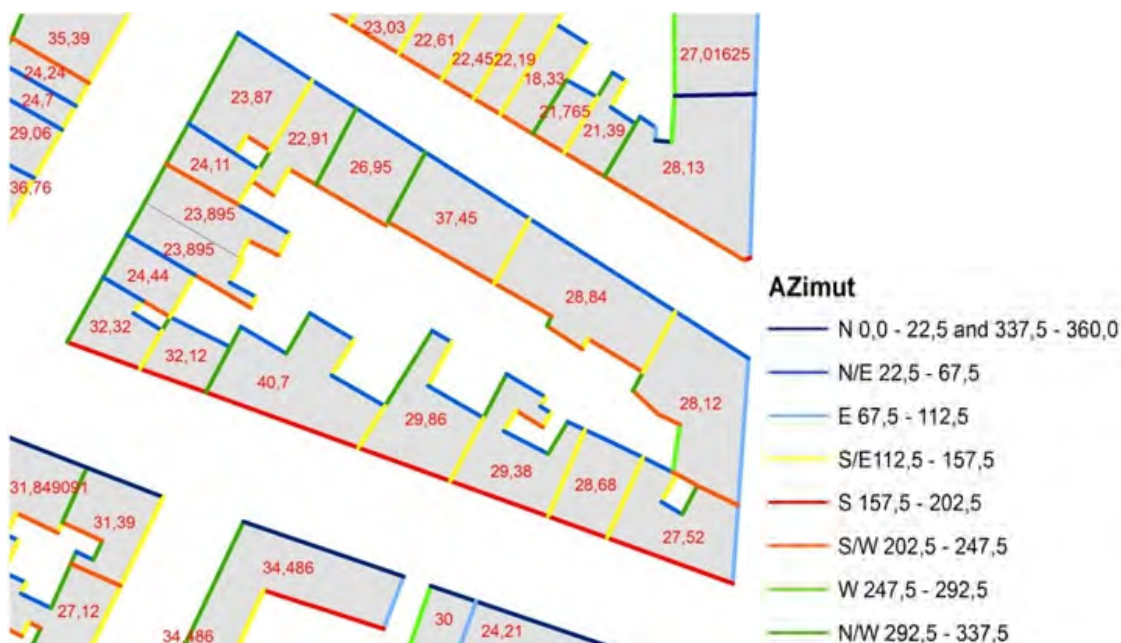



Fig. n° 6.11, Esempio di applicazione dei tools B1, B2, B3 in uno stralcio reale: le facciate esterne degli edifici sono colorate in funzione del loro orientamento azimutale; si notano alcuni segmenti in grigio che rappresentano muri di divisione tra edifici che non hanno superficie esterna; il numero in rosso è l'altezza alla gronda dell'edificio; si nota anche come il toolset sia in grado di riconoscere l'orientamento delle facciate di edifici con una pianta complessa.

fig. n° 6.12 isolato dell'esempio, vista da sud tratta da Bings Map live

[19] il tool[19] "*select Layer by attribute*" presente nel toolbox *Data management tools*/*Layer and Tables view* di ArcMap 10 è in grado di selezionare dei record in funzione dei valori presenti nei campi ed utilizzarli in un processo del toolbox senza la necessità di creare un file. Questo strumento verrà usato spesso nei tool di RET per simulare delle procedure IF then else.

fig. n° 6.13 isolato dell'esempio, vista da nord tratta da Bings Map live

6.2.8.3 Il fattore di riduzione per l'ombreggiatura da ostruzioni esterne

La norma richiede, come dato di input per il calcolo standard, alcuni valori riguardanti il fattore di schermatura solare delle superfici disperdenti. L'apporto energetico per irraggiamento solare delle superfici opache e trasparenti è uno dei principali fattori per il calcolo dei fabbisogno energetico. Un edificio particolarmente ombreggiato ha un guadagno molto limitato mentre uno privo di schermature e correttamente orientato può modificare sensibilmente il suo fabbisogno energetico[20]. Nei paragrafi che seguono si ricorderà l'approccio della norma UNI 11300 per la valutazione della presenza di ombreggiamento nel calcolo del fabbisogno energetico, lo si confronterà con quello utilizzato dal software DOCET e si presenterà la procedura di calcolo sviluppata. Alla descrizione del tool seguiranno anche una sere di esempi di calcolo che ne mostreranno alcune applicazioni e ne valuteranno la correttezza.

6.2.8.3.1 L'approccio della UNI 11300

Il calcolo proposto dalla norma ricava i guadagni solari a partire dai dati climatici forniti nella UNI 10349 (implementata dalla UNI 8477/1 per le superfici non orizzontali) dove si possono trovare le irradiazioni solari globali giornaliere medie mensili per ogni capoluogo di provincia e per ogni mese dell'anno, a seconda del loro orientamento azimutale[21]. A questi valori di irradiazione viene poi applicato un

[20] La presenza di ombreggiature influisce anche su una delle componenti delle perdite per trasmissione del calore, in realtà piuttosto secondaria, chiamata nella norma extraflusso. Inoltre sarebbe anche importante nel caso si volesse implementare una metodologia per la valutazione del fabbisogno energetico per l'illuminazione degli interni: in alcuni dei casi di riferimento studiati tale valutazione era presente ma nel calcolo standard della norma non è prevista.

[21] Applicando la citata norma sono state precalcolate, utilizzando un coefficiente di riflessione medio pari a 0.2, le irradiazioni solari globali, somma delle Hbh diretta e Hdh diffusa, giornaliere medie mensili, per ogni capoluogo di provincia e per ogni mese dell'anno, relativamente a superfici orizzontali e superfici verticali orientate a Sud, Sud-Ovest o Sud-Est, Est od Ovest, Nord -Ovest o Nord-Est, Nord, riportate nei prospetti della UNI 10349. Per le località non comprese è possibile calcolare una irradiazione corretta che tenga conto della diversa localizzazione, rispetto al capoluogo, applicando il seguente metodo (UNI 8477-1) :
- si identificano due località di riferimento, ovvero i capoluoghi di provincia più vicini in linea d'aria e sullo stesso versante geografico di quella considerata;
- si calcola il valore della irradiazione della località considerata come media ponderale dei valori delle due località di riferimento pesate rispetto alla latitudine, secondo la seguente relazione:

coefficiente di riduzione per ombreggiamento, generato da elementi considerabili fissi[22], definito come il prodotto (1,2) di tre fattori dipendenti dalle ostruzioni esterne (Fhor, fig. n°6.14), dagli aggetti orizzontali (Fov) e dagli aggetti verticali (Ffin) dell'edificio (fig. n°6.15) (punto 14.4 della UNI 11300-1). Questi fattori vengono forniti dalla stessa norma attraverso tabelle che ne riportano il valore in funzione di tre rispettivi parametri angolari:

$$Fsh = Fhor * Fov * Ffin \qquad (1)$$

Aggetto orizzontale e verticale
Legenda
a) Sezione verticale
b) Sezione orizzontale

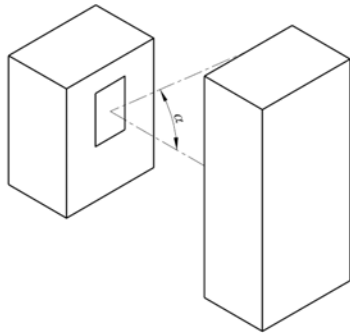



Fig n°6.14, parametro angolare "u" per ostruzioni esterne

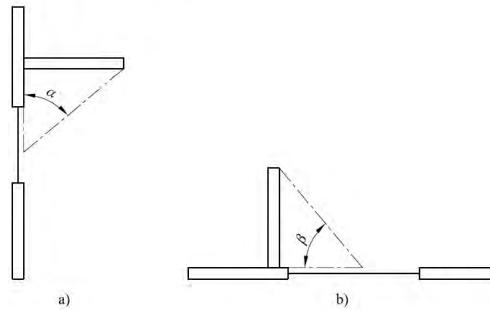



Fig n°6.15, parametri angolari per aggetti orizzontali a) verticali b)

Il flusso termico generato da ogni superficie viene poi calcolato con la seguente (2)

$$Fsol = Fsh*Asol*Isol \qquad (2)$$

Dove:

Fsol = flusso termico solare [W]

Fsh = fattore di riduzione per ombreggiamento [%]

Asol = area di captazione solare, con il suo orientamento ed inclinazione [mq]

Isol = irradianza media mensile giornaliera, per specifico orientamento ed inclinazione [MJ/mq]

Il parametro angolare per ostruzioni esterne "u" è una semplificazione proposta dalla 11300 per valutare l'influenza dell'ombreggiamento da parte di oggetti esterni sulle facciate dell'edificio: è una misura della

---

$$H = H_{r1} + (H_{r2} - H_{r1})/(L_{r2} - L_{r1})*(L - L_{r1})$$

Dove:
Hr1 = è l'irradiazione solare nella prima località di riferimento;
Hr2 è l'irradiazione solare nella seconda località di riferimento;
Lr1 è la latitudine della prima località di riferimento;
L r2 è la latitudine della seconda località di riferimento;
L è la latitudine della località considerata.

[22] *È un fattore moltiplicativo della radiazione solare incidente per tenere conto dell'effetto di ombreggiatura permanente sull'elemento vetrato considerato risultante da: altri edifici, topografia (alture, alberi), aggetti, altri elementi dello stesso edificio, parte esterna della parere sulla quale è montato l'elemento vetrato (UNI 11300-1, nota 14)*

schermatura dall’irraggiamento solare globale ad opera delle ostruzioni esterne (fig.n°13). Geometricamente u è definito come l’angolo zenitale che si forma tra il centro della superficie verticale presa in considerazione e il colmo dell’ostruzione normale ad essa; la normativa con un intento semplificativo immagina le due superfici indefinitivamente parallele in modo da poter assumere un solo valore di u, facilmente deducibile dalla osservazione del contesto.

Partendo da questo angolo, e considerando l’orientamento azimutale della superficie, si possono ottenere i fattori di riduzione dell’irraggiamento solare su superfici verticali utilizzando i prospetti forniti dalla norma stessa (tabelle D1 della UNI 11300), che, a parità di u, forniscono un fattore di riduzione diverso a seconda del mese, dell’orientamento azimutale, e della latitudine in cui si sta effettuando il calcolo. La norma prevede il calcolo di *u* per ogni superficie irraggiata, ed in particolare per ogni singola finestra dell’edificio; nella nostra metodologia tale precisione non è possibile in quanto non si ha il dato dell’esatta posizione della finestre ma soltanto il *Glazing ratio* che ne presuppone un’uniforme distribuzione sulla facciata. Nella metodologia si proporrà il calcolo di un u medio per ogni facciata, che verrà utilizzato poi per determinare i fattori di riduzione dell’irraggiamento solare (Fhor) sulla superficie finestrata presente e sulla superficie opaca. In altre parole si considererà tutta la superficie finestrata della facciata concentrata nel punto centrale della stessa; si calcolerà quindi l’u di tale punto rispetto ai punti di colmo degli edifici antistanti.

La norma prevede una definizione specifica per ogni superficie vetrata anche per i parametri angolari relativi agli aggetti orizzontali e verticali (fig. n°14), ma nel nostro caso si dovrà necessariamente fare riferimento a dei valori definibili per tipologia edilizia come media per tutta la superficie finestrata. Questi dati potranno essere facilmente inseriti nei calcoli tramite la definizione dell’archetipo a partire da studi sulle tipologie edilizie[23]; rimane perciò da ricavare il valore di u per ogni facciata in base al contesto.

6.2.8.3.2 L’approccio del software semplificato DOCET

Anche DOCET utilizza alcune semplificazioni per ricavare il fattore di ombreggiamento da parte delle ostruzioni esterne secondo la 11300, la superficie finestrata è ritenuta distribuita in maniera uniforme sulla facciata ma l’u viene valutato piano per piano in funzione delle condizioni del contesto. Nella modalità di certificazione energetica per un singolo appartamento è possibile valutare specificatamente il guadagno solare di un appartamento al piano terra o all’ultimo piano, ma nella modalità riferita alla certificazione dell’intero edificio, alla quale noi ci stiamo riferendo in questo studio, non è possibile esplicitare queste differenze rendendo quindi possibile l’uso di un u mediato per tutta la facciata. I piani più bassi sono generalmente più schermati di quelli alti ma da punto di vista prettamente numerico utilizzando per tutta la superficie il valore nel punto a quota media della facciata, il risultato sarà lo stesso.

[23] Nella metodologia proposta si è inserito solo il parametro Fov, perché più facilmente deducibile da uno speditivo studio delle tipologie edilizie in quanto prettamente generato dalla presenza di balconi. Per l’inserimento del parametro Ffin si rimanda ad uno studio più approfondito delle tipologie edilizie ed ad una successiva implementazione della metodologia.

Il software permette di inserire un edificio al massimo in ognuna delle otto principali direzioni azimutali: per ogni edificio verrà richiesto il numero di piani e se esso sia contiguo o adiacente. Nel caso sia contiguo ne verrà tenuto conto per la determinazione delle superfici disperdenti. Nel caso sia adiacente esso sarà utilizzato per la determinazione dell'ombreggiamento e verrà considerato ad una distanza di 10m, se in contesto urbano, o ad una distanza di 20m se in contesto di periferia; l'altezza dell'edificio è ricavata moltiplicando 3m per il numero di piani inserito. Questo tipo di valutazione dei parametri del contesto, seppur funzionale agli spesso frettolosi sopralluoghi che precedono la redazione di una certificazione energetica, non tiene conto che l'ostruzione non è generata da solo un edifico ma da un insieme di corpi di distanza ed altezze diverse. Inoltre la determinazione standardizzata delle altezze con un interpiano di 3m può portare negli edifici multi livello ad errori di alcuni metri che riducono la precisione sia della stima del parametro di ombreggiamento che del calcolo della superficie disperdente. Nonostante questi limiti, il software DOCET risponde perfettamente a quanto richiesto dalla norma: effettuando un semplice sopralluogo si può inserire nel programma un numero di piani ed un contesto che tenga già grossolanamente conto dei diversi elementi di schermatura che insistono sulla facciata senza correre il rischio di effettuare errori macroscopici. Questo è possibile perché l'osservatore, con un minimo di esperienza, è in grado di effettuare approssimazioni basate sul buon senso: se sulla facciata insistono due edifici, uno di 5 piani ed uno di 3, si potrà inserire nel software il valore mediato di 4 senza commettere tuttavia un grosso errore. Spostandoci alla scala urbana è però impensabile effettuare questa valutazione manualmente facciata per facciata, perciò sarà necessario implementare un tool che possa effettuare queste considerazioni in maniera automatica e con sufficiente rispondenza alla realtà.

6.2.8.3.3 L'approccio teorico

Vi è una grande quantità di modelli teorici[24] e di loro applicazioni che permettono di calcolare il valore dell'irraggiamento solare su una superficie qualsivoglia orientata tenendo in considerazione le caratteristiche del contesto e quelle climatiche, ma si assume che l'irraggiamento globale su una superficie possa essere distinto in tre componenti (fig. n°6.16):

[24] Vengono chiamati modelli di trasposizione perché sono usati per il calcolo dell'irraggiamento su superfici di riverso orientamento ed inclinazione a partire da misurazioni strumentali effettuate in condizioni standard. Ne esistono molti tra i quali Temps and Coulson (1977) and Klucher (1979), Hay (1979), Muneer (1997), e Perez et al. (1990, 1992) utilizzati per la simulazione della radiazione solare in condizioni isotropiche ed anisotropiche; ma quello che ha avuto più successo in quanto ad applicazioni in una grande varietà di contesti è quello di Perez (Jensen 1994) al quale noi faremo cenno. Non è volontà di questo studio approfondire questo argomento in quanto, come si vedrà in seguito, la metodologia proposta dalla norma si discosta notevolmente da quelle proposte nei modelli teorici.

globale = diretto + diffuso + riflesso

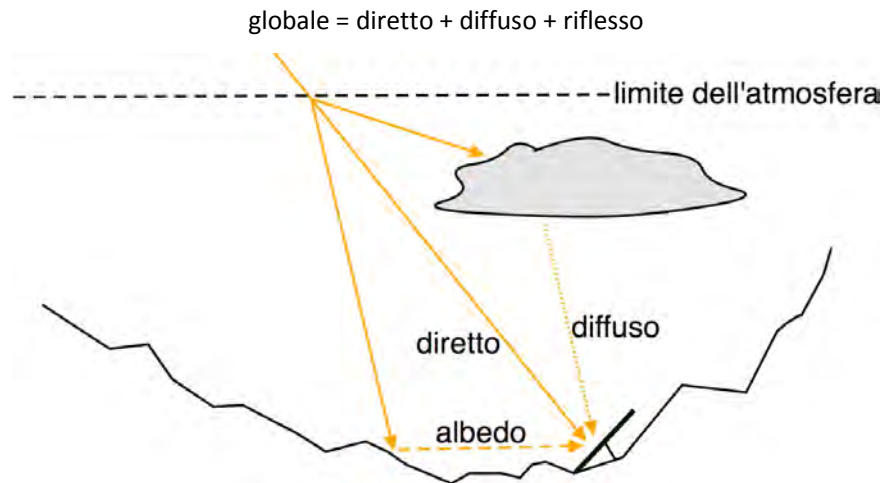



Fig. n°6.16, le tre componenti dell'irraggiamento globale

L'irraggiamento diretto è ricevuto direttamente dal sole, senza diffusione dovuta all'atmosfera. I suoi raggi sono paralleli tra di loro, formano delle ombre, le schermature che influenzano maggiormente questo valore sono quelle presenti nell'intorno della direzione normale alla superficie. Il valore dell'irraggiamento su una superficie inclinata senza ombreggiamento dipende dall'angolo di incidenza dei raggi sul piano ed è regolato dalle seguenti (fig. n°6.17) :

$$Ip = In * \cos \ \ /sen (HS)$$

Dove

$$\cos \ \ = \cos \ \ * senHS + sen \ \ * cosHS * \cos (AZ - \ \ )$$

Con

Ip = irraggiamento diretto sul piano inclinato

Ih = irraggiamento diretto sul piano orizzontale, quantità misurata sperimentalmente

= angolo tra i raggi solari paralleli tra loro e la normale al piano considerato

= angolo di inclinazione della superficie rispetto all'orizzontale

= direzione azimutale della normale al piano considerato

HS = angolo tra i raggi solari e l'orizzonte, altezza solare

AZ = direzione azimutale dei raggi solari

Naturalmente si tratta di un valore istantaneo perché al variare della posizione del sole durante la giornata e delle stagioni l'angolo sarà diverso. Queste relazioni si basano sul valore misurato dell'irraggiamento diretto su una superficie orizzontale dove l'influenza della componete riflessa è nulla, così come sono ininfluenti i parametri e .

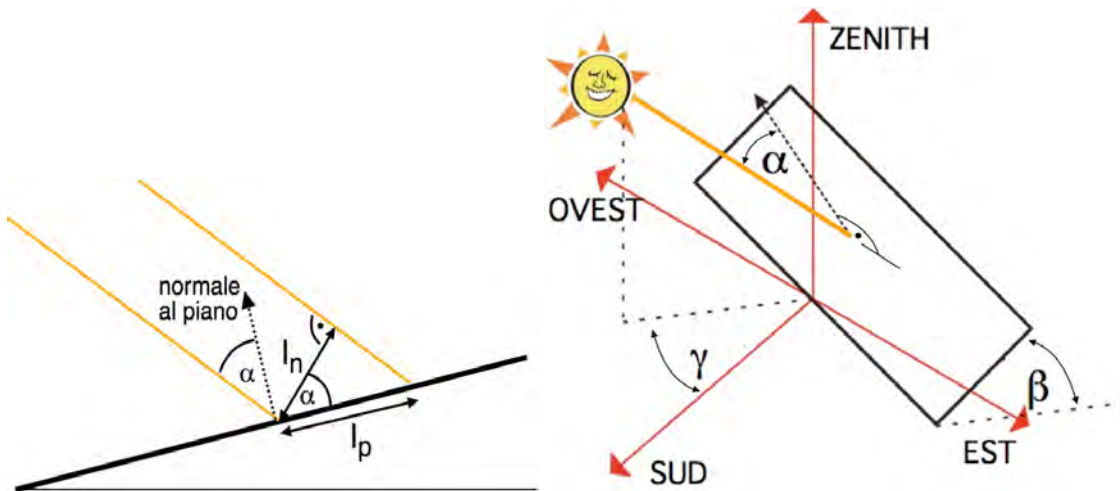



Fig. n°6.17, relazione tra l'irraggiamento incidente un piano inclinato e quelli normali e angolo tra i raggi e la normale al piano.

L'irraggiamento diffuso è costituito da fotoni diffusi dalle particelle presenti in atmosfera (aria, nuvole, aerosol). Varia con le condizioni meteorologiche: con tempo coperto, si considera isotropo, vale a dire che si riceve un irraggiamento identico da tutte le direzioni della volta celeste; con tempo chiaro o velato, oltre al cielo blu, relativamente isotropo (diffusione sull'aria), si ha una corona più brillante attorno al sole (componente circumsolare) e sovente un rinforzo sull'orizzonte, la cosiddetta banda d'orizzonte (. Fig. n°17). Se si considera una condizione isotropa l'irraggiamento sarà proporzionale alla porzione di cielo visibile dalla superficie per determinare la quale è necessario tenere conto delle schermature presenti in tutta la vista della facciata, ossia in un range di +/- 90° da AZn. Anche in questo caso il valore si basa su una misura sperimentale dell'irraggiamento su un piano orizzontale privo di ombreggiamento ma effettuato ponendo uno schermo all'irraggiamento diretto in modo da isolare solo il contributo di quello diffuso.

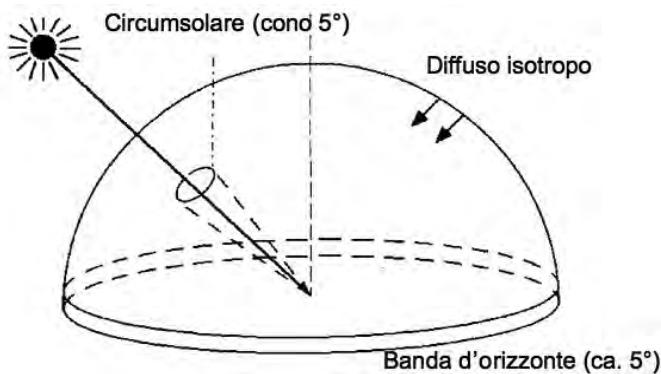



Fig. n°6.18, le tre componenti dell'irraggiamento diffuso (Modello di Perez 1992)

Considerando il semplice modello isotropico applicato ai canyon urbani, il valore di irraggiamento diffuso incidente su una superficie di inclinazione b (0< <) in assenza di ostruzioni può essere espresso dalla:

$$I_d = I_{dh} * (1+ \cos\ \ )/2 \qquad (3)$$

Con:

I_d = irradianza diffusa incidente in un piano inclinato

I_{dh} = irradianza diffusa incidente in un piano orizzontale

= angolo di inclinazione,

= 0, il piano è orizzontale perciò $I_d = I_{dh}$

= /2, il piano è verticale perciò $I_d = ½ I_{dh}$, ossia metà della volta celeste è visibile dalla superficie

= , il piano è con la faccia verso il suolo $I_d = 0$, ossia per valori di > /2 il contributo del cos diventa negativo perché la superficie si inclina verso il basso.

Nel caso si abbiano delle ostruzioni la porzione di cielo visibile sarà ridotta, così come proposto dalla norma, dell'angolo u tra il punto considerato della superficie e l'estremo più alto dell'ostruzione perpendicolare (Fig. n°6.19), generando una diminuzione proporzionale dell'irradianza incidente sulla facciata (fig. n°6.23):

$$I_d = I_{dh} * (1+ \cos(\ \ +u))/2 \qquad (4)$$

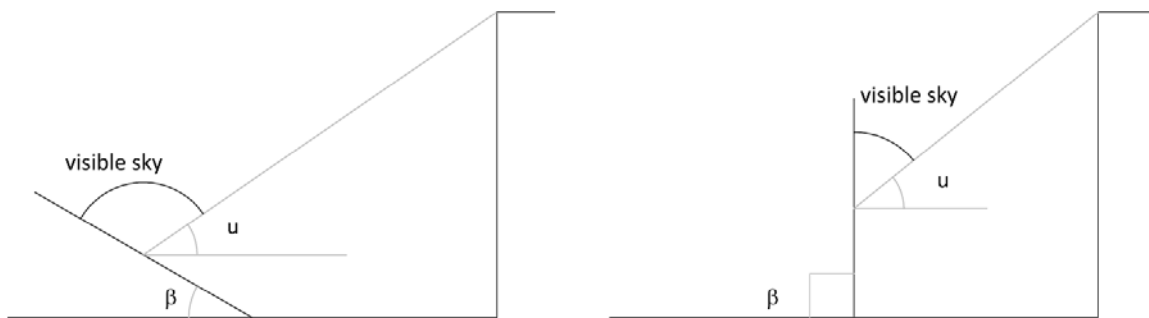



Fig. n°6.19, definizione di ed u, nei casi di superficie inclinata e verticale

Si introduce però una complessità generata dal fatto che generalmente il profilo dello skyline visibile da una facciata è una linea tutt'altro che omogenea (fig n°6.20) (ROBINSON 2004). Il valore dell'UHA (fig. n°6.22) consiste in quell'angolo u costante che individui nel grafico dei percorsi solari un'area equivalente, ossia integrando il valore di u per range +/- (con = 90°) rispetto alla normale della facciata e dividendo tale valore per l'ampiezza della vista (5) (PEREZ 1992) .

$$UHA = 1/\ \ * \int u*\cos(\ \ )\, d \qquad (5)$$

Fig. n°6.20, naturalmente in linea generale la stessa u ha un valore variabile a seconda del punto della vista in cui ci si trova per cui u = u( ).

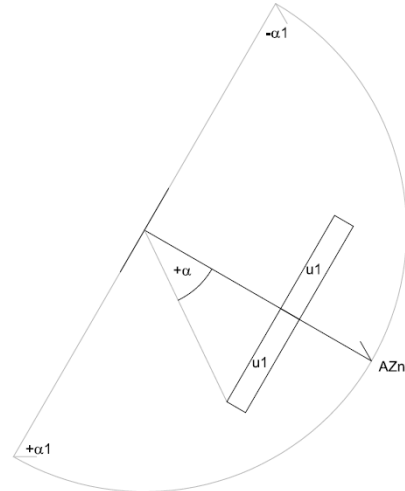



Fig. n°6.21, generica schermatura di ampiezza

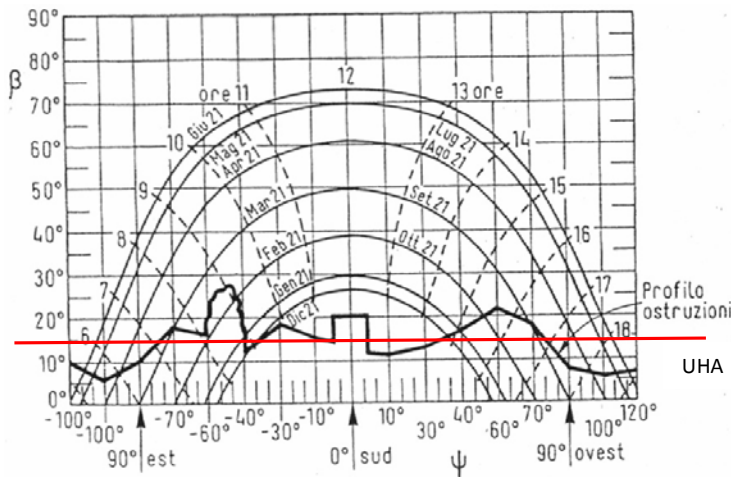



Fig n°6.22, esempio di maschera solare con i percorsi del sole ed il profilo delle ostruzioni, la linea rossa rappresenta il profilo di una ostruzione equivalente ad angolo costante

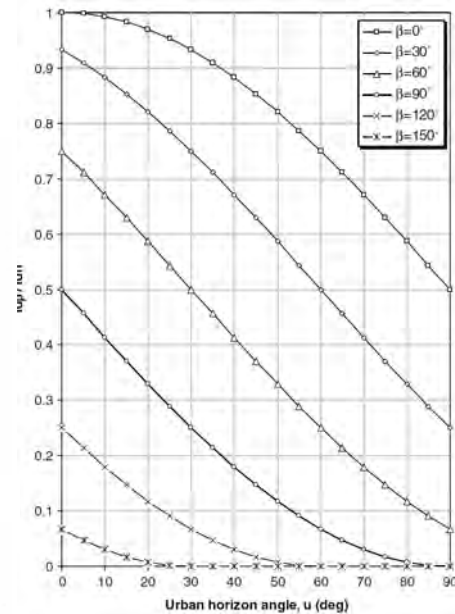



Fig. n°23, rapporto tra I_d / I_{dh} in funzione del UHA, per = 90 si può vedere l'andamento per una superficie verticale (ROBINSON, 2004)

Perciò se si considera una generica ostruzione (fig. n° 6.21) di altezza costante posta in posizione centrata rispetto alla superficie in considerazione di avrà integrando la (5):

UHA = 1/ *([sen ( ) - sen (0)]*u+[sen (90) - sen ( )]*0)*2 = 2/ *sen ( )*u (6)

Il contributo delle parti della vista dove la u=0, ossia dove non è presente schermatura, è nullo. Applicando sempre la (5) in un caso più generale dove sono presenti più elementi schermanti con diversi valori di u (fig. n°19) si ottiene un'espressione del tipo:

$$UHA = 1/\ *(([sen(\ _{12}) - sen(\ _{11})]*u_1 + [sen(\ _{22}) - sen(0)]*u_2) + [sen(\ _{31}) - sen(\ _{32})]*u_3 + [sen(\ _{12}) - sen(0)]*u_2) = 1/\ *\{[sen(\ _{12}) - sen(\ _{11})]*u_1 + [sen(\ _{22}) + sen(\ _{12})]*u_2 + [sen(\ _{31}) - sen(\ _{32})]*u_3\} \quad (7)$$

Si noti che per effetto della (5) il valore iniziale di u calcolato per le singole ostruzioni darà origine ad un UHA inferiore per effetto sia dell'operatore trigonometrico che tiene conto del fatto che man mano che ci si allontana dalla normale l'influenza dell'ostruzione è minore, che dell'estensione stessa dell'ostruzione che, se non occupa tutta la vista, vedrà necessariamente ridimensionato il suo peso. Per mostrare ciò si utilizzerà un esempio numerico: considerando una schermatura simmetrica rispetto alla normale (fig. n°6.21), si calcolerà il valore di UHA utilizzando la (6) facendo variare sia la lunghezza dell'ostruzione, rappresentata dall'angolo alfa, che l'ampiezza della vista (Tab n°6.10 e Fig n°6.24). Ponendoci nell'ipotesi semplificativa delle due superfici indefinitivamente parallele, ossia considerando un'ostruzione di ampiezza di 180°, se la vista è tutto il range di 180° il valore di u viene diminuito di circa il 36%.

u	**view**	**2*alfa**	**P**	**UHA**		**u**	**view**	**2*alfa**	**P**	**UHA**
25,00	180,00	30,00	0,16	4,12		25,00	60,00	30,00	0,49	12,36
25,00	180,00	60,00	0,32	7,96		25,00	60,00	60,00	0,95	23,87
25,00	180,00	90,00	0,45	11,25		25,00	60,00	90,00	0,95	23,87
25,00	180,00	120,00	0,55	13,78		25,00	60,00	120,00	0,95	23,87
25,00	180,00	180,00	0,64	15,92		25,00	60,00	180,00	0,95	23,87
25,00	120,00	30,00	0,25	6,18		25,00	30,00	30,00	0,99	24,72
25,00	120,00	60,00	0,48	11,94		25,00	30,00	60,00	0,99	24,72
25,00	120,00	90,00	0,68	16,88		25,00	30,00	90,00	0,99	24,72
25,00	120,00	120,00	0,83	20,67		25,00	30,00	120,00	0,99	24,72
25,00	120,00	180,00	0,83	20,67		25,00	30,00	180,00	0,99	24,72
25,00	90,00	30,00	0,33	8,24						
25,00	90,00	60,00	0,64	15,92						
25,00	90,00	90,00	0,90	22,51						
25,00	90,00	120,00	0,90	22,51						
25,00	90,00	180,00	0,90	22,51						

Tab. n°6.10, esempio numerico
u: valore ipotizzato dell'angolo di ostruzione
view: ampiezza della vista
2*alfa: estensione angolare dell'ostruzione
P: risultato di 2/view*sen ( )
UHA: valore mediato di u

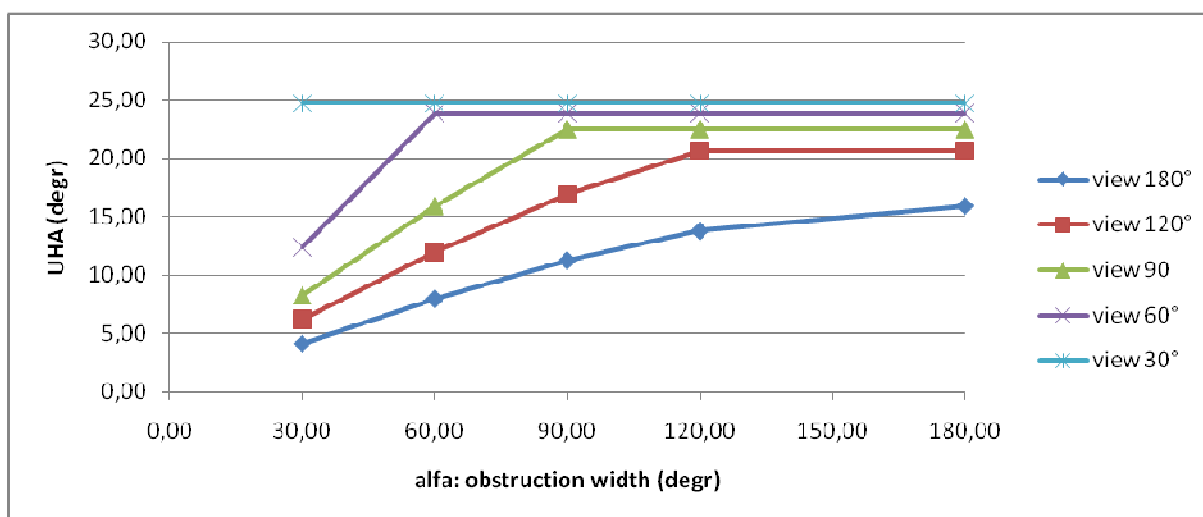



Fig. n°6.24, andamento di UHA al variare della vista

L'irraggiamento riflesso o albedo è la parte riflessa dal suolo verso la superficie presa in considerazione. Naturalmente dipende dai materiali dai colori e dalla forma dei dintorni del luogo. Tale contributo è sensibile solo nelle superfici non orizzontali in quanto queste sono colpite dai raggi riflessi dal suolo. Nel caso di una semplice superficie verticale isolata in un modello isotropico la componente riflessa può essere calcolata dalla:

albedo = (∗Ih *(1-cos))/2

con

Ih = irraggiamento diretto sul piano orizzontale
= angolo di inclinazione della superficie rispetto all'orizzontale
= coefficiente di albedo

Ambiente urbano	0.14 - 0.20
Erba	0.15 - 0.25
Erba fresca	0.26
Neve fresca	0.82
Neve bagnata	0.55 - 0.75
Asfalto secco	0.09 - 0.15
Asfalto bagnato	0.18
Cemento	0.25 - 0.35
Tegole rosse	0.33
Alluminio	0.85
Rame	0.74
Acciaio galvanizzato	0.35
Galvanizzato molto sporco	0.08

Tab. n°6.9 , valori del coefficiente di riflessione per diversi materiali

Nel caso la geometria dell'intorno non sia regolare si dovrà calcolare il contributo di ogni superficie alla componente riflessa dell'irraggiamento globale. Questa naturalmente è una situazione tipica dell'ambiente urbano dove il valore della componente riflessa è fortemente dipendente dalla forma e dalla distanza degli edifici antistanti la facciata presa in considerazione. Il valore di albedo dipenderà inoltre anche dai materiali presenti nell'ambiente circostante. Si noti che in ambito urbano si trovano materiali caratterizzati da coefficienti molto alti (tab. n°6.9).

La norma semplifica i calcoli richiesti per la valutazione del contributo dell'irraggiamento solare fornendo i valori di irraggiamento globale per le superfici verticali diversamente orientate, calcolati partendo dai valori misurati su superficie orizzontale nelle diverse località italiane. Inoltre precalcola dei coefficienti di

riduzione dell'irraggiamento al variare del grado di ombreggiamento della superficie definito con l'uso di tre parametri angolari: due riferiti ad ombre causate dalla forma stessa dell'edificio ed uno dipendente dalle caratteristiche del contesto (in seguito chiameremo questo angolo "u"). L'angolo u non ha una diretta corrispondenza con gli approcci teorici dei modelli per la trasposizione sulle superfici inclinate dei valori di irraggiamento orizzontale: per quanto sembri intuitivamente affine alla definizione del UHA per la componente diffusa, questo ha influenza su tutte le componenti dell'irraggiamento ed inoltre è esplicitamente riferito a schermature presenti nella direzione normale alla facciata di riferimento. Il parametro "u" risponde infatti alla necessità di semplificare le operazioni necessarie alla valutazione dell'irraggiamento sulle superfici in maniera funzionale alla pratica professionale, dove spesso i dati sono ricavati da rapidi sopralluoghi, dalla semplice osservazione di foto o da cartografia non di dettaglio. Si tratta perciò di una convenzione che, per semplificare l'applicazione della norma e favorire la confrontabilità dei risultati, propone l'uso di parametri facilmente utilizzabili e riconoscibili; naturalmente il calcolo con metodi rigorosi porterà a risultati diversi che comunque differiranno ancora dai valori di irraggiamento globale misurabili sperimentalmente.

Nel nostro caso, partendo dall'assunto che la precisione di una valutazione alla scala urbana può essere minore di quella richiesta per il singolo edificio, ci sembra opportuno fare nostre le ipotesi semplificative della norma stessa e cercare di applicare le convenzioni da essa proposte al fine di rendere i risultati del tool confrontabili con quelli normalmente ottenuti dalle metodologie di calcolo utilizzate in ambito professionale. Però la semplice trasposizione in un tool della definizione di u, come da norma, può non essere adatta nel contesto urbano che in realtà è ben diverso dall'ipotesi semplificativa delle due superfici parallele: utilizzando la quota della prima ostruzione esattamente normale al punto centrale della facciata si possono commettere errori perché quel punto può appartenere ad un edificio insolitamente alto o basso rispetto al resto del contesto, oppure può finire in uno spazio residuale vuoto (come una strada) portando il valore di u a zero. Gli elementi da tenere in considerazione per valutare un "*u mediato*" che sia ragionevole, devono quindi appartenere ad un range di vista definibile con un angolo +/- rispetto alla normale della facciata. La *"u media"* può essere considerata simile alla definizione tramite integrale di Urban Horizon Angle (UHA) utilizzata da alcuni modelli per il calcolo della componente diffusa dell'irraggiamento solare nei canyon urbani (5). L'applicazione di tale definizione porta però ad una forte diminuzione del valore di UHA causata dall'operatore coseno integrato su un range di +/- 90° rispetto alla normale alla facciata (Tab. n°6.10 e Fig. n°6.24). Tale caduta del valore di u, per quanto corretta se riferita alla componente diffusa, non coincide con le ipotesi iniziali previste dalla norma che richiede solo il valore dell'angolo della ostruzione normale a prescindere dell'estensione della stessa. Infatti, riassumendo in un solo parametro l'influenza delle tre componenti (diretta, diffusa e riflessa), le ostruzioni presenti nell'intorno della direzione normale alla facciata sono di gran lunga più influenti di quelle ai margini della vista. Si può quindi ipotizzare l'uso di un valore mediato con la (5) su un range ridotto +/- 1 della vista (fig. n°20) in modo da utilizzare le

stesse ipotesi semplificative proposte dalla norma ed avere un operatore capace di valutare un valore dell'angolo *"u"* senza cadere negli errori causati dalla valutazione di un valore puntuale.

Per valutare tramite la (5) l'influenza di 1 sul valore di UHA si sono effettuati degli esempi numerici (Tab. n°6.10 e Fig. n°6.24); è evidente come al diminuire di 1 la differenza tra la UHA ed u tenda a diminuire: per 1=30 tale differenza è minore del 2%. Quando l'ampiezza di alfa supera quello della vista 1 la parte della ostruzione in eccedenza non verrà presa in considerazione, questa volta per evitare una sovrastima del valore di UHA; in altre parole l'influenza di un'ostruzione che supera l'ampiezza della vista viene considerata identica a quella che ha l'ampiezza massima della vista stessa. Gli andamenti del valore di UHA (fig. n°6.24), mostrano chiaramente come quando l'estensione dell'ostruzione eguaglia quella della vista il valore di UHA diventi costante. Utilizzando una vista più ristretta si possono evitare gli errori grossolani che potrebbero incorrere nella valutazione u nella sola direzione normale alla facciata ma contemporaneamente si preserva il valore da una drastica caduta.

La soluzione che si è scelta è sviluppare un tool che ricavi un valore mediato di u a partire da una vista di estensione inferiore a 180° cosi come effettuato nell'esempio appena esposto. Inoltre l'applicazione in ambito urbano tramite uno strumento GIS porterà ad altre modifiche nella stessa (5) che verranno mostrate di seguito, perciò da ora in avanti si parlerà di "*weighted u*" (wu) per differenziarlo da UHA calcolato con la formula teorica (5).

6.2.8.3.4 Implementazione del tool

Qui esporremo come, partendo dalle considerazioni precedenti, si sia implementato il tool per il calcolo di wu, utilizzando strumenti standard presenti nei toolbox di ArcGIS 10[25]. Si mostrerà poi, tramite alcuni esempi ideali, un'analisi della sensitività di wu rispetto alla variazione delle caratteristiche degli edifici del contesto al fine di valutare la ragionevolezza dei risultati che il tool può fornire.

I dati di ingresso:

alfa context (*SHP poligonale*), tale file è costituito dai perimetri degli edifici del contesto e conterrà campi con le quote di base e di gronda degli edifici, ed un codice univoco per ogni edificio. Nel caso sviluppato si è usato il codice catastale e le quote sono state desunte dalla Cartografia Tecnica Regionale in formato vettoriale (DWG).

Alfa base (SHP lineare), questo file, ottenuto precedentemente con i tool B1,B2,B3, rappresenta le facciate degli edifici e contiene nei campi le seguenti informazioni utili alla determinazione di u: la quota di base e di colmo, l'azimut della normale alla superficie, un codice univoco di riferimento all'edificio di cui fa parte (Codice Catastale)

---

[25] Per i dettagli sul tool si rimanda alla appendice con i diagrammi di flusso del Model Builder

Step 1

Dopo aver calcolato la quota media di ogni facciata, tramite l'utilizzo di alcuni toolbox di conversione in SHP puntuali[26], si ricavano i punti centrali delle facciate ed i punti estremi e centrali dei segmenti che costituiscono *alfa context*. I punti contengono tutte le informazioni dei campi presenti nei file originari (fig. n°24).

AZn

AZn

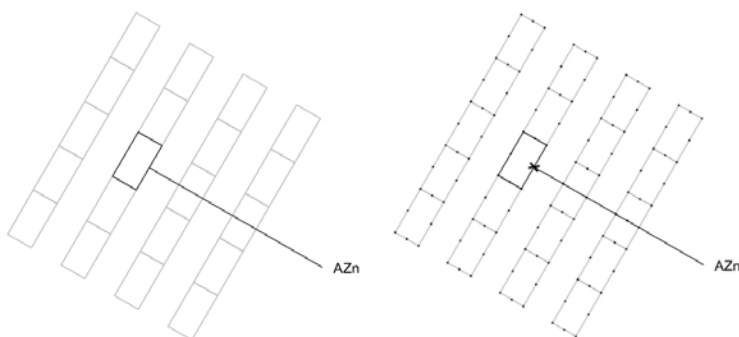



Fig. n°6.25 *alfa base ed alfa context* trasformati in SHP puntuali, si prende in considerazione solo una facciata a titolo di esempio caratterizzata da una normale AZn

Step 2

Si ricavano le distanze orizzontali e le direzioni azimutali tra ogni punto centrale di *Alfa base* e tutti i punti di *alfa context utilizzando il* tool *Near Table*[27] per un raggio di 35m (fig. n°25). Alla tabella *(dbf)* cosi ottenuta se ne aggiunge un'altra, ottenuta con il medesimo tool, contenente la minima distanza e la direzione azimutale tra i punti centrali di *Alfa base* e i poligoni di *alfa context*.

---

[26] Si è utilizzato il "split line at verticies" presente nel toolbox Data Management tools/Features di ArchMap 10. Il tool è in grado di ricavare gli spigoli o i punti medi di file poligonali o lineari mantenendone gli attributi originari ed inserendo un campo identificativo della feature di partenza.

[27] Si è utilizzato il "Generate Near Table" presente nel toolbox Analysis tool/ proximity di ArchMap 10. Il tool crea una tabella dove conserva i dati di distanza e di angolo polare tra una feature oggetto ed altre obiettivo, nel nostro caso si sono usati i punti centrali delle facciate come oggetto e i punti estremi e medi delle stesse come obiettivo. Nella tabella sarà presente un record per ogni distanza misurata tra ogni punto oggetto e tutti i punti obiettivo presenti nel range impostato.

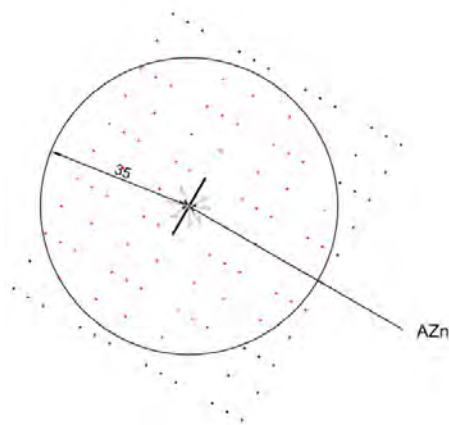



Fig. n°6.26 Calcolo della distanza e dell'angolo azimutale di ogni punto entro 35m dal punto medio della facciata.

Step 3

Combinando la tabella appena ottenuta con il file lineare degli orientamenti della facciata, si selezionano solo i record che formano un angolo di +/- 1 (parametro settabile)[28] tra la propria direzione azimutale e quella della normale alla facciata. Per ognuno di questi si calcola il valore di u tramite la seguente:

$$u = \text{arcsen}\left(\frac{DH}{\sqrt{neardist^2 + DH^2}}\right) \qquad (8)$$

con

DH = differenza tra la quota media della facciata di riferimento e l'altezza totale degli altri edifici

neardist = distanza orizzontale calcolata dallo strumento "neartable" tra i punti centrali delle facciate e i punti degli altri edifici

A questo punto si hanno numerosi valori di u per ogni facciata (fig. n°6.27): è necessario definire un solo valore che ne sia una ragionevole media in modo da poter utilizzare le tabelle fornite dalla norma. Tale media dovrà sia tenere conto dell'estensione degli edifici che della posizione centrale o meno degli stessi. Un edificio molto alto che copre una piccola parte della visuale della facciata, potrebbe dare un contributo minore di uno più basso ma molto più esteso; inoltre un ostacolo al centro della vista, ossia nei pressi della direzione normale alla parete, contribuisce molto di più di uno posto ai margini.

[28] L'ampiezza teorica sarebbe di = +/-90°, ma per limitare i dati presi in considerazione e contemporaneamente non perdere informazioni utili si è ritenuto sufficiente, in questa fase, 1 = +/- 85°.

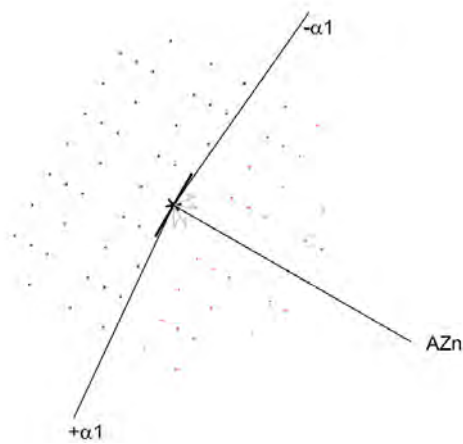



Fig n°6.27, selezione dei punti da considerare rispetto ad un range +/- 1 da AZn

Step 4

Si riaggregano[29] i valori di u rispetto agli edifici (fig. n°6.28), in modo da avere per ogni edificio visto dalla facciata un valore max di u e un alfa ottenuto dal minimo ed il massimo valore di azimut dei punti che lo costituiscono. Si ritorna cioè ad una situazione in tutto e per tutto simile alla (7) del paragrafo precedente, dove ogni valore di u era moltiplicato per un coefficiente ottenuto dall'integrale della (5). La tabella cosi ottenuta avrà un record per ogni edificio visto da ogni facciata, contenente le seguenti informazioni: Azimut minimo (AZmin), Azimut massimo (AZmax), distanza minima, distanza massima, u massimo, codice univoco di riferimento alla facciata. L'uso dell'u massimo, in luogo di uno medio, pur comportando una leggera sovrastima, tiene conto del fatto che i punti da considerare per l'ombreggiamento sono quelli più vicini e più alti ossia quelli caratterizzati da un valore massimo di u.

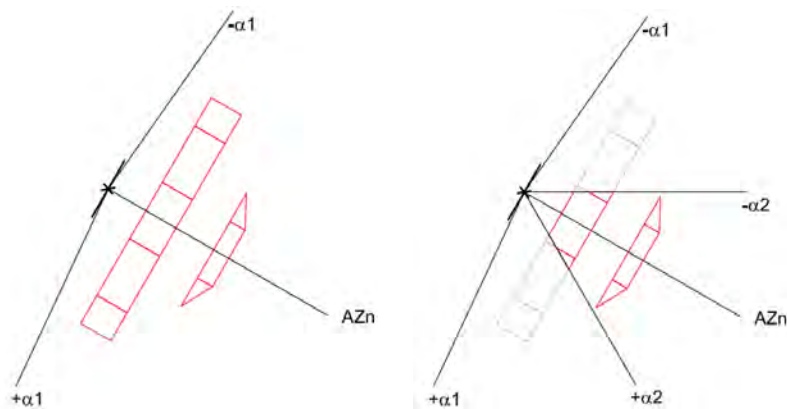



Fig n°6.28, passaggio dagli edifici di tutto l'intervallo +/- 1 a quello +/- 2

[29] Si è utilizzato in tool *Summary Statistics*

Step 5

Gli edifici che contribuiscono maggiormente alla schermatura dalla radiazione solare diretta sono quelli che si trovano nei pressi della direzione ortogonale alla facciata; inoltre per evitare una caduta del valore di wu per effetto dell'integrazione in un range molto ampio, si propone l'uso di un secondo intervallo di vista +/- 2 di ampiezza minore di +/- 1, utile anche a limitare il carico computazionale della macchina (fig. n°6.28). In questo Range si applicherà la (7), per simulare la definizione del profilo di u si dividerà +/- 2 in piccoli angoli R ai quali assegnare il valore di u ricavabile dalle ostruzioni presenti.

Esponendo i passaggi svolti dal tool:

1) Selezione dei record degli edifici compresi in R, utilizzando i valori di AZmax e AZmin:

select record where AZmin >= (AZn - 2 + R_n) and AZmax <= (AZn - 2 + R_{n+1})

select record where AZmax >= (AZn - 2 + R_n) and AZmin <= (AZn - 2 + R_n)

select record where AZmax >= (AZn - 2 + R_{n+1}) and AZmin <= (AZn - 2 + R_{n+1})

2) Calcolo del valore dell'integrale della (5) per ogni ostruzione presente nello specifico range R_n, preso in considerazione: tale valore servirà ad individuare il valore di u_R da assegnare all'intervallo. Si distinguono due casi:
   a) La somma delle estensioni $_i$ degli edifici presenti nel range R_n è inferiore o uguale all'ampiezza dello stesso (fig. n°6.29, case 1), ossia sono presenti delle parti di vista libera. In questo caso u_R coincide con la definizione teorica di UHA, ossia con la somma degli integrali calcolati per ogni ostruzione.
   b) La somma delle estensioni $_i$ degli edifici presenti nel range R_n è superiore all'ampiezza dello stesso (fig. n°28, case 2,3), ossia sono presenti più edifici sovrapposti che compongono il profilo dell'ostruzione. In questo caso si assegnerà a tutto l'intervallo R il valore di u che da origine al MAX [$\int_n$ u*cos ( ) d]. Sono quindi possibili errori di sottostima (fig. n°6.30, case 2) o di sovrastima (fig. n°6.30, case 3) perché il valore di u adottato per la vista è quello che la caratterizza maggiormente, ma potrebbe tralasciare alcuni contributi di ostruzioni molto alte ma poco estese, o non tenere conto che parte della vista è occupata da edifici di altezza minore.

   Gli errori possono essere limitati diminuendo il valore di R, e quindi aumentando il numero di intervalli, oppure semplificando le geometrie degli edifici utilizzati come ostruzione in modo da limitare i poligoni di piccola dimensione che non verrebbero valutati dal tool. Teoricamente se il valore di R tende a 0 la valutazione di u sarà puntuale e si otterrà esattamente il profilo reale sulla base del quale calcolare UHA[30].

[30] Noi abbiamo utilizzato intervalli di R= 5° e R=10° con un 2 = 30, ottenendo risultati molto simili per i due R e con errori molto contenuti rispetto all'UHA (esempio n°6).

3) Calcolo del valore di wu per ogni facciata, come rapporto tra la somma dei valori di u_R calcolati per gli R_n intervalli e l'intero intervallo +/- 2,:

$$wu = \sum u_R / (2* \ 2) \qquad (9)$$

di cui

se SUM $_i$ <= R $\qquad u_R = \sum_R[\int_i u_i * \cos(\ _i) d \ ]$ (10)

se SUM $_i$ > R $\qquad u_R = \int_R u_{mi} * \cos(\ ) d$ (11)

con:

wu = angolo di ostruzione pesato della facciata

2 = vista presa in considerazione

u_R = angolo di ostruzione dell' i-esimo edificio incidente l'intervallo R: [AZn - 2 + R_n; AZn - 2 + R_{n+1}]

u_{mi} = valore di u relativo al MAX [$\int_i u_i * \cos(\ _i) d \ $]

$_i$ = estensione dell' i-esimo edificio incidente l'intervallo [AZn - 2 + R_n; AZn - 2 + R_{n+1}]

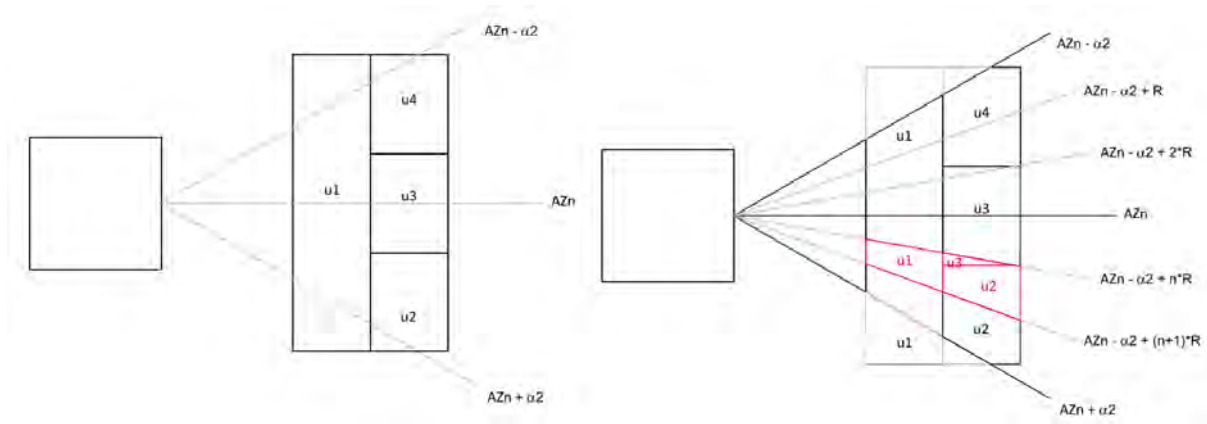



Fig. n° 6.29, selezione degli edifici nell'intervallo R_n

case 1, real skyline

case 1, tool skyline good estimation

case 2, real skyline

tool skyline, underestimation

case 3,real skyline

tool skyline, overestimation

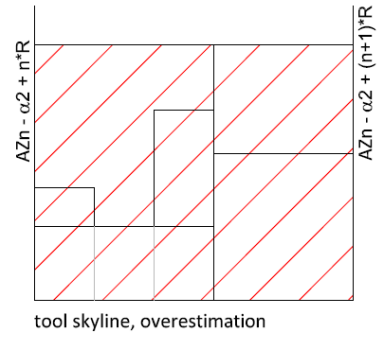
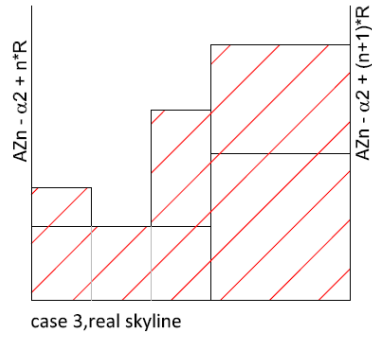
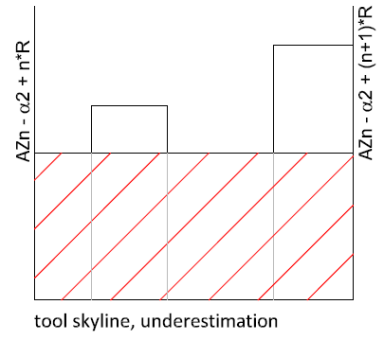
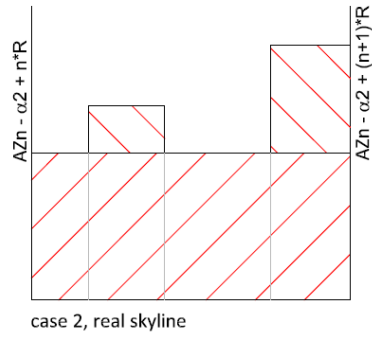
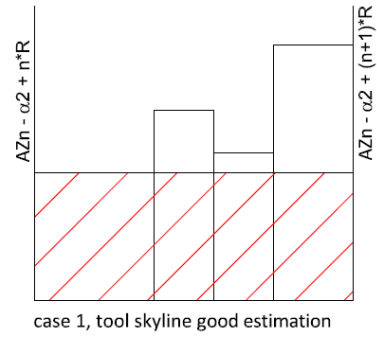
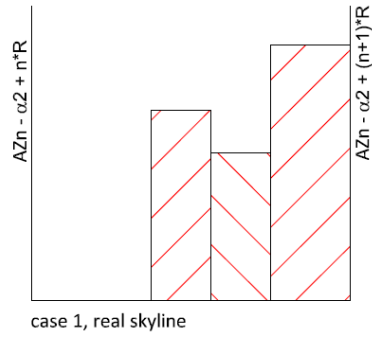



Fig. n°6.30, stima del valore di u_R nei casi di stima corretta, sottostima e sovrastima

6.2.8.3.5 Analisi della sensitività

Al fine di valutare l'effettivo funzionamento del tool e scegliere le impostazioni di 2 ed Rn che possano portare buoni risultati in rapporto allo scopo dello studio, si è impostata una analisi della sensitività partendo da alcuni esempi ideali. Come *u base* si considererà sempre lo stesso edificio ideale di 8m di altezza e lati di 10m orientati verso i quatto punti cardinali e si faranno variare di volta in volta le caratteristiche del contesto per valutare la sensibilità del calcolo di wu in rapporto ad alcune diverse impostazioni di 2 ed R.

Esempio n°1

Si sono impostate parallelamente alla facciata dell'edificio delle ostruzioni particolarmente lunghe in modo che anche con il variare di 2 la vista sia completamente coperta dall'edificio. Questo è il caso tipico di una facciata che da a una strada dove gli edifici antistati sono più o meno uniformi per altezza, oppure dove sulla facciata insista un solo edificio che occupa tutta la visuale. Wu è stato calcolato con R =10°; per valutarne l'errore rispetto a UHA si sono effettuati i calcoli anche per via analitica con le stesse impostazioni di 2 ed anche col valore teorico di 180°.

Si sono invece, fatti variare i parametri di altezza e di distanza delle ostruzioni tramite uno schema preciso che tenesse conto dell'altezza della facciata considerate H:

Altezza ostruzioni	¾*H	H	(1+½)*H	2*H
Distanza ostruzioni	H	(1+½)*H	2*H	3*H

Di seguito lo schema grafico delle varie configurazioni utilizzate (fig. n°6.31), la tabella riportante tutti dati calcolati (tab. 6.10) ed alcuni grafici con gli andamenti dei risultati (fig. n°6.32).

Fig. n°6.31 Configurazione delle ostruzioni

Mean u	Max u	2=15	2=30	2=45	2=60	wu 15	Wu 30	Wu 45	wu 60	Height	Distance	Width	D_wu_ 15-60
26,6	26,6	30,0	60,0	90,0	100,1	26,2	25,0	23,1	18,3	16,0	24,0	58,0	-0,30
18,2	18,2	30,0	60,0	90,0	100,1	17,9	17,1	15,8	12,4	12,0	24,0	58,0	-0,31
9,5	9,5	30,0	60,0	90,0	100,1	9,3	8,9	8,2	6,5	8,0	24,0	58,0	-0,30
4,8	4,8	30,0	60,0	90,0	100,1	4,7	4,5	4,1	3,3	6,0	24,0	58,0	-0,30
37,1	37,1	30,0	60,0	90,0	119,5	36,5	34,9	32,2	29,2	16,0	16,0	58,0	-0,21
26,3	26,3	30,0	60,0	90,0	119,5	25,8	24,7	22,8	20,6	12,0	16,0	58,0	-0,21
13,9	13,9	30,0	60,0	90,0	119,5	13,7	12,0	12,1	10,8	8,0	16,0	58,0	-0,21
7,2	7,2	30,0	60,0	90,0	119,5	7,0	4,9	6,2	5,5	6,0	16,0	58,0	-0,21
44,3	44,3	30,0	60,0	90,0	120,0	43,6	41,6	38,5	35,0	16,0	12,0	58,0	-0,20
33,6	33,6	30,0	60,0	90,0	120,0	33,0	31,5	29,2	26,5	12,0	12,0	58,0	-0,20
18,3	18,3	30,0	60,0	90,0	120,0	18,0	17,2	15,9	14,4	8,0	12,0	58,0	-0,20
9,4	9,4	30,0	60,0	90,0	120,0	9,3	8,8	8,2	7,4	6,0	12,0	58,0	-0,20
55,5	55,5	30,0	60,0	90,0	120,0	54,6	52,1	48,2	43,8	16,0	8,0	58,0	-0,20
45,2	45,2	30,0	60,0	90,0	120,0	44,4	42,4	39,2	35,6	12,0	8,0	58,0	-0,20
26,2	26,2	30,0	60,0	90,0	120,0	25,8	24,6	22,8	20,7	8,0	8,0	58,0	-0,20
13,6	13,6	30,0	60,0	90,0	120,0	13,4	12,8	11,8	10,7	6,0	8,0	58,0	-0,20

Tab n°6.10, le colonne 2=15, 30,45,60 mostrano l'estensione della ostruzione rispetto al punto centrale della facciata; le colonne wu 15, 30,45,60 mostrano i risultati di wu con le differenti estensioni di 2; mean u e Max u sono i rispettivi valori del gruppo di edifici preso in considerazione; Height e Width le rispettive dimensioni della ostruzione, D_15_60wu la variazione del valore di u calcolato tra 2 = 15 e 2 =60.

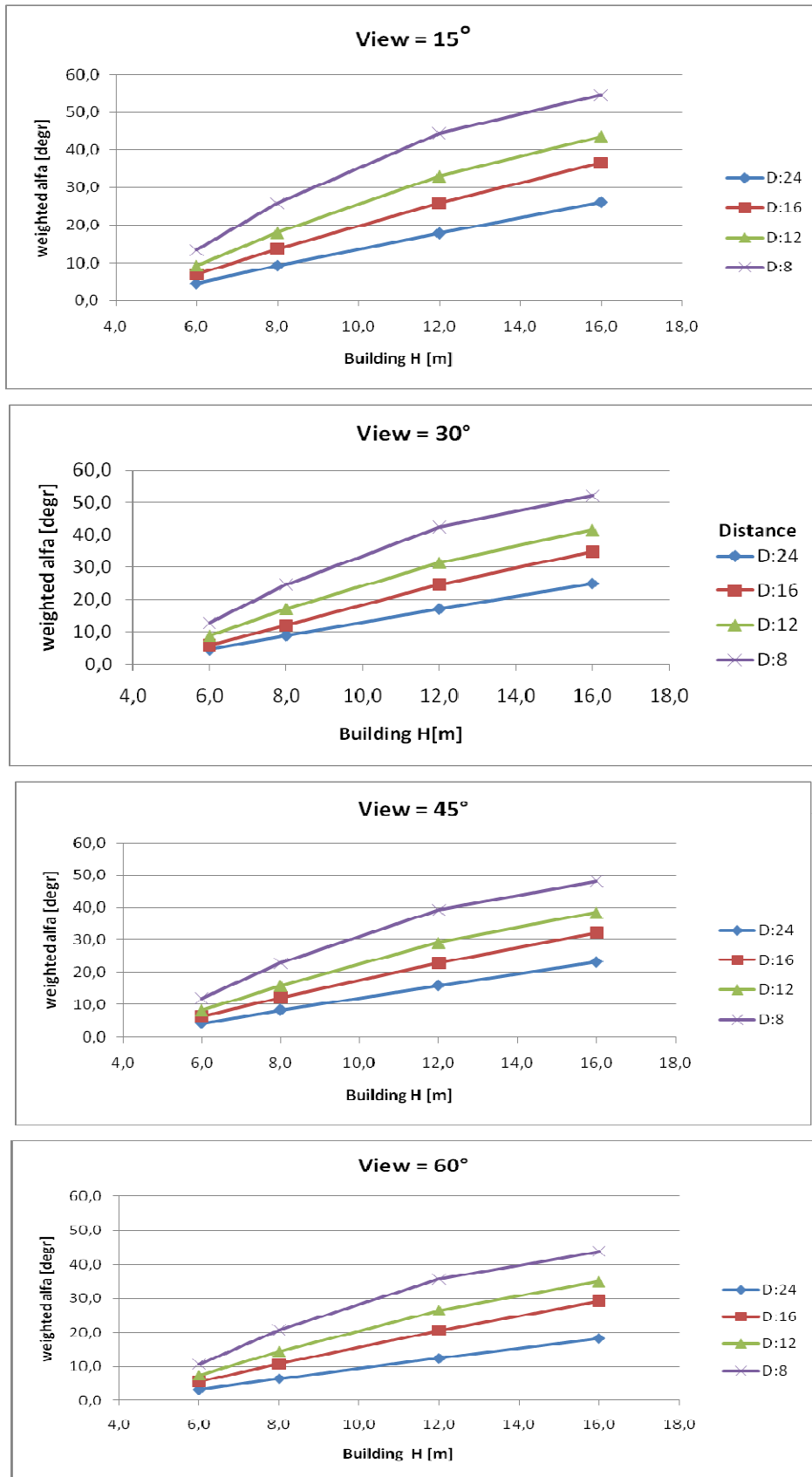



Fig. n°6.32, grafici con gli andamenti di wu in funzione della distanza e della ampiezza di 2

La sola variazione di 2 incide fortemente sul valore di wu (tab n°1, field “wu 15-60”); tale variazione rimane costante per D = 8 e D = 12 perché 2 < i, ossia l’ampiezza della vista è minore dell’estensione dell’edificio, (field =15, 30, 45), mentre per D = 16 e poi decisamente per D = 24 si ha una diminuzione data dal fatto che 2 > i (field 2=60).

Nelle prime due colonne Mean u Max u (tab. n°6.10) si possono osservare i valori medi e massimi degli u del gruppo di edifici; in questo caso l’edificio è uno perciò essi coincidono, il valore di wu per 2 = 15° è molto simile al massimo e poi, in accordo a quanto dimostrato teoricamente decresce con l’aumento di 2.

Con l’aumento dell’altezza delle ostruzioni il valore di wu aumenta in maniera differente a seconda della distanza al quale esso si trova (tab n°6.11): gli edifici alla distanza maggiore mostrano una variazione in percentuale più elevata a fronte di una variazione assoluta minore.

Distance = 24	**wu 15**	**wu30**	**wu45**	**wu 60**
Delta %	-0,82	-0,82	-0,82	-0,82
delta	21,50	20,50	18,99	15,04
Distance = 16				
Delta %	-0,81	-0,82	-0,81	-0,81
delta	29,45	28,94	26,02	23,66
Distance = 12				
Delta %	-0,79	-0,79	-0,79	-0,79
delta	34,30	32,76	30,30	27,52
Distance = 8				
Delta %	-0,76	-0,76	-0,76	-0,76
delta	41,21	39,36	36,40	33,06

Tab n°6.11, tabella con le variazioni in % ed assolute di wu tra H =16 e H = 6 alle varie distanze

Si sono calcolati separatamente i valori di UHA teorici ottenibili con le stesse condizioni dell’esempio e si sono messi a confronto con quelli di wu ottenuti con R=10°. Non deve stupire la forte coincidenza dei risultati, confermata dai valori di R^2 quasi unitari, perché in un caso semplice la (9) coincide con la (7): l’elemento che introduce errore è la presenza di più edifici di altezze molto diverse sovrapposti nello stesso intervallo di R.

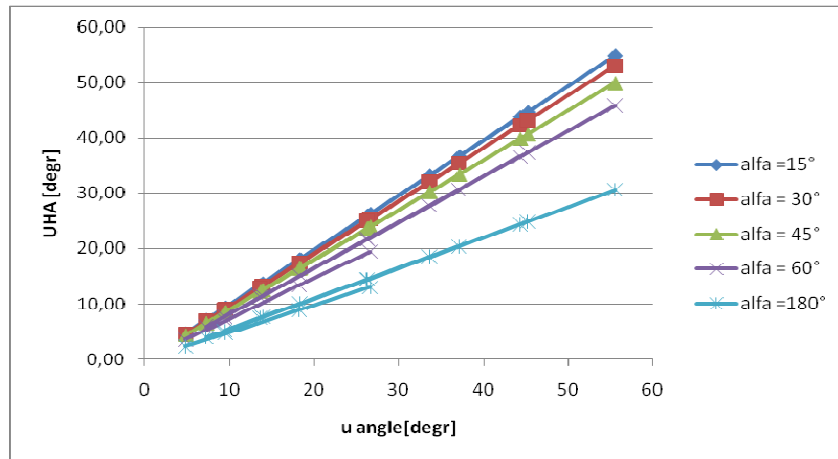



Fig. n°6.33, andamento del valore di UHA in funzione della u massima, al variare delle ampiezza di 2

u	UHA (15)	wu (15)	UHA (30)	wu (30)	UHA (45)	wu (45)	UHA (60)	wu (60)	UHA (180)
26,6	26,30	26,20	25,40	25,01	23,95	23,10	19,47	18,30	12,98
18,2	17,99	17,90	17,38	17,10	16,39	15,80	13,32	12,40	8,88
9,5	9,39	9,30	9,07	8,90	8,55	8,20	6,95	6,50	4,64
4,8	4,75	4,70	4,58	4,50	4,32	4,10	3,51	3,30	2,34
37,1	36,68	36,50	35,43	34,90	33,40	32,20	30,60	29,20	20,40
26,3	26,00	25,80	25,11	24,70	23,68	22,80	21,69	20,60	14,46
13,9	13,74	13,70	13,27	12,00	12,51	12,10	11,47	10,80	7,64
7,2	7,12	7,00	6,88	4,90	6,48	6,20	5,94	5,50	3,96
44,3	43,80	43,60	42,30	41,60	39,88	38,50	36,64	35,00	24,42
33,6	33,22	33,00	32,09	31,50	30,25	29,20	27,79	26,50	18,52
18,3	18,09	18,00	17,48	17,20	16,48	15,90	15,13	14,40	10,09
9,4	9,29	9,30	8,98	8,80	8,46	8,20	7,77	7,40	5,18
	0,00								
55,5	54,87	54,60	53,00	52,10	49,97	48,20	45,90	43,80	30,60
45,2	44,69	44,40	43,16	42,40	40,69	39,20	37,38	35,60	24,92
26,2	25,90	25,80	25,02	24,60	23,59	22,80	21,67	20,70	14,44
13,6	13,45	13,40	12,99	12,80	12,24	11,80	11,25	10,70	7,50
	R^2= 0,998		**R^2= 0,995**		**R^2= 0,998**		**R^2= 0,997**		

Tab n° 6.12, confronto tra wu e UHA

Esempio n°2

In questo esempio si sono utilizzate ostruzioni di una larghezza contenuta (10m) poste parallelamente ed in maniera centrata alla facciata dell'edificio. Questo è il caso tipico di una facciata dove l'ostruzione sia generata da un edificio isolato che copre solo parte della vista. Anche in questo caso si sono fatti variare i parametri di altezza e di distanza delle ostruzioni tramite uno schema preciso che tenesse conto dell'altezza della facciata considerate H:

Altezza ostruzioni	1/2*H	H	(1+½)*H	2*H	
Distanza ostruzioni	1/2*H	H	(1+½)*H	2*H	4*H

Di seguito lo schema grafico delle varie configurazioni utilizzate (fig. n°6.34), la tabella riportante tutti dati calcolati (tab. n°6.13) ed alcuni grafici con gli andamenti desumibili dai dati (fig. n°6.35).

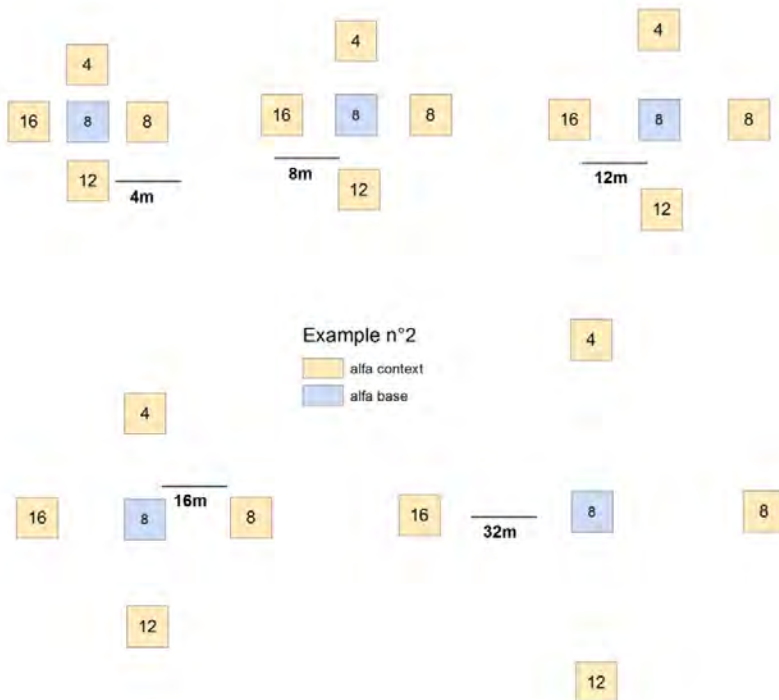



Fig. n°6.34 Configurazione delle ostruzioni

Si può subito notare una forte variabilità del valore di wu rispetto a 2 (c. D_wu 15-60), che cresce con l'aumentare della distanza dell'ostruzione fino ad arrivare ad un valore di oltre il 70%. Finché l'ampiezza della vista rimane inferiore o uguale alla estensione dell'edificio (field 2= 15) il valore di wu non si discosta molto da quello di u max, ma quando la distanza raggiunge i 32m la vista supera ampiamente l'estensione dell'edificio e perciò il valore di wu viene circa dimezzato rispetto a quello massimo (field = 15).

Mean u	Max u	2=15	2=30	2=45	2=60	wu 15	wu30	Wu 45	wu 60	Height	Distance	Width	D_wu 15-60
0,0	0,0	30,0	60,0	90,0	98,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	4,0	10,0	0,00
41,8	41,8	30,0	60,0	90,0	98,1	41,0	39,2	36,2	27,8	8,0	4,0	10,0	-0,32
60,8	60,8	30,0	60,0	90,0	98,1	59,7	57,0	52,8	40,8	12,0	4,0	10,0	-0,32
70,1	70,1	30,0	60,0	90,0	98,1	68,8	65,7	60,8	47,4	16,0	4,0	10,0	-0,31
0,0	0,0	30,0	60,0	63,3	63,3	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	8,0	10,0	0,00
26,1	26,1	30,0	60,0	63,3	63,3	25,6	24,5	16,6	12,2	8,0	8,0	10,0	-0,52
43,7	43,7	30,0	60,0	63,3	63,3	43,0	39,6	27,4	20,2	12,0	8,0	10,0	-0,53
55,9	55,9	30,0	60,0	63,3	63,3	54,9	52,4	35,6	26,2	16,0	8,0	10,0	-0,52
0,0	0,0	30,0	45,6	45,6	45,6	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	12,0	10,0	0,00
18,6	18,6	30,0	45,6	45,6	45,6	18,3	13,5	8,8	6,5	8,0	12,0	10,0	-0,64
33,8	33,8	30,0	45,6	45,6	45,6	33,2	24,6	16,0	11,9	12,0	12,0	10,0	-0,64
45,2	45,2	30,0	45,6	45,6	45,6	44,4	32,7	21,3	15,8	16,0	12,0	10,0	-0,64
0,0	0,0	30,0	34,6	34,6	34,6	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	16,0	10,0	0,00
14,1	14,1	30,0	34,6	34,6	34,6	13,9	7,9	5,2	3,9	8,0	16,0	10,0	-0,72
26,2	26,2	30,0	34,6	34,6	34,6	25,8	14,6	9,6	7,1	12,0	16,0	10,0	-0,72
36,3	36,3	30,0	34,6	34,6	34,6	35,7	19,9	13,1	9,7	16,0	16,0	10,0	-0,73
0,0	0,0	18,1	18,1	18,1	18,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	32,0	10,0	0,00
7,1	7,1	18,1	18,1	18,1	18,1	4,2	2,1	1,4	1,0	8,0	32,0	10,0	-0,76
14,1	14,1	18,1	18,1	18,1	18,1	8,4	4,2	2,7	2,1	12,0	32,0	10,0	-0,76
20,4	20,4	18,1	18,1	18,1	18,1	11,8	5,9	3,9	2,9	16,0	32,0	10,0	-0,76

Tab n°6.13, le colonne 2=15, 30,45,60 mostrano l'estensione della ostruzione rispetto al punto centrale della facciata; le colonne wu 15, 30,45,60 mostrano i risultati di wu con le differenti estensioni di 2; mean u e Max u sono i rispettivi valori del gruppo di edifici preso in considerazione; Height e Width le rispettive dimensioni della ostruzione, D_15_60wu la variazione del valore di u calcolato tra 2 = 15 e 2 =60

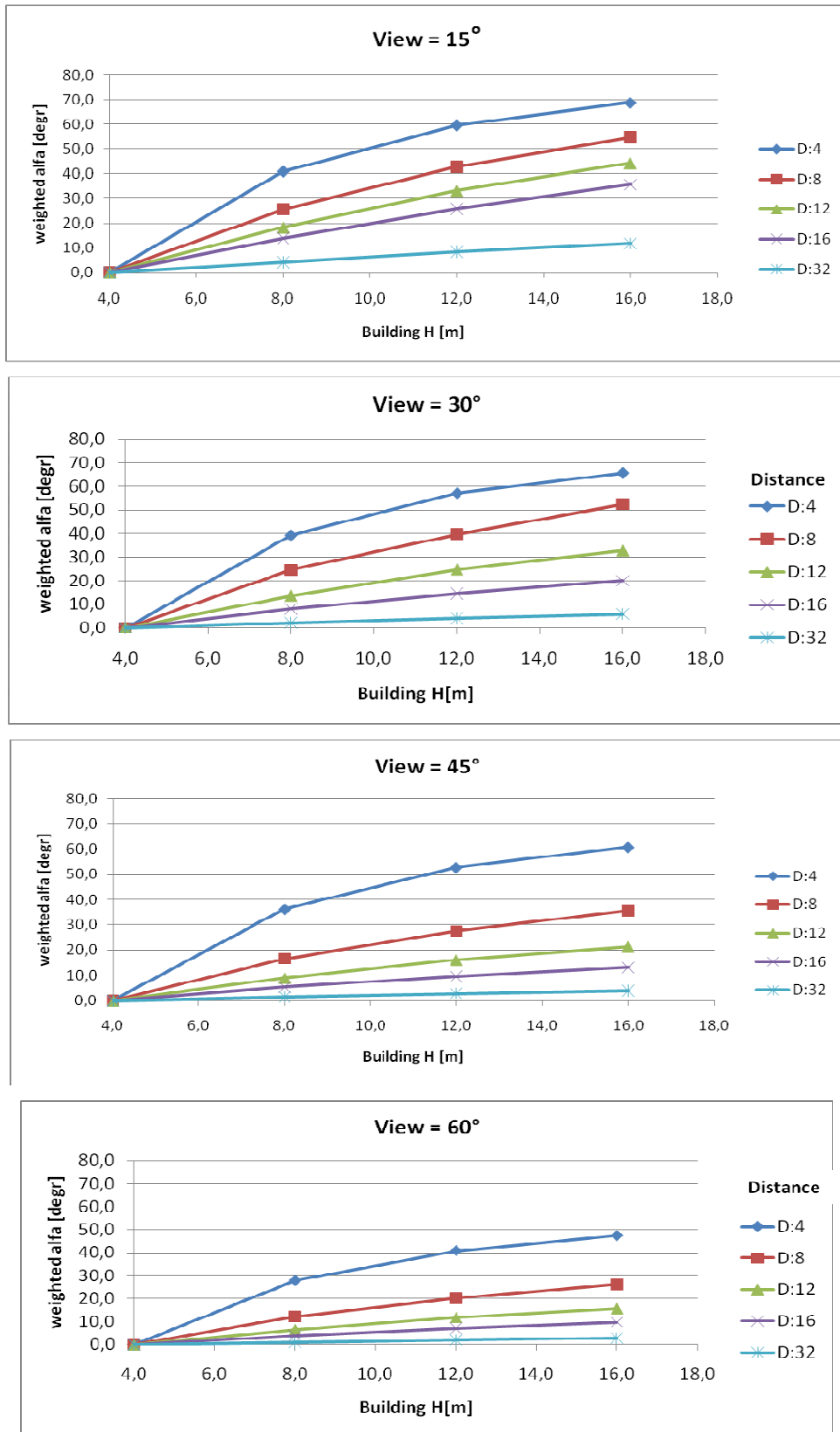



Fig. n°6.35, andamenti di wu in funzione dell'altezza delle ostruzioni, alle diverse distanze e ampiezze 2

Esempio n°3

In questo esempio si vuole esplicitare l'influenza della larghezza degli elementi di ostruzione, quindi si sono utilizzate ostruzioni di una larghezza variabile poste parallelamente, in maniera centrata alla facciata ed ad una distanza fissa pari all'altezza dell'edificio, ossia 8m.

In questo caso variano i parametri di larghezza e di altezza dell'ostruzione tramite uno schema preciso che tiene conto dell'altezza della facciata considerata H e della larghezza della facciata L = 10m.

Altezza ostruzioni	1/2*H	H	(1+½)*H	2*H	
Larghezza ostruzioni	1/2*L	L	(1+½)*L	2*L	3*L

Di seguito lo schema grafico delle varie configurazioni utilizzate (fig.n°6.36), la tabella riportante tutti dati calcolati (tab. n°6.14) ed alcuni grafici con gli andamenti desumibili dai dati (fig.n°6.37).

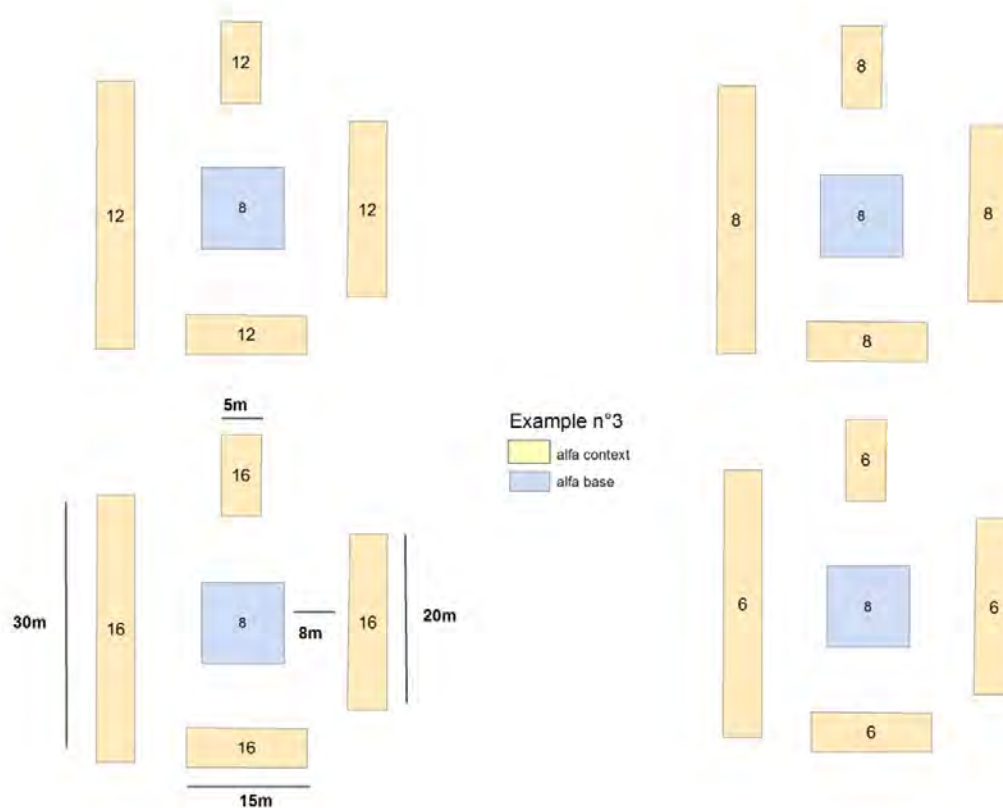



Fig. n°6.36 Configurazione delle ostruzioni

Questo esempio mette bene in evidenza la forte influenza dell'ampiezza della vista rispetto alla estensione dell'edificio. Dai grafici è evidente come appena quest'ultima raggiunge 2* 2 il valore di wu cresca notevolmente in quanto non vi sono più spazi liberi. Quindi la scelta di utilizzare un 2 piccolo produce valori di wu elevati prossimi al u max anche in presenza di ostruzioni di limitata estensione. Infatti il primo

grafico mostra un andamento costante di wu al variare della lunghezza dell'ostruzione perché la vista 2* 2 è sempre inferiore all'estensione dell'edificio (field. =15;, parimenti negli altri grafici wu diventa costante quando si raggiunge il valore di 2* 2 di estensione (field. =45, 30, 60).

Mean u	Max u	2=15	2=30	2=45	2=60	wu 15	Wu 30	Wu 45	wu 60	Height	Distance	Width	D_wu_15-60
56,6	56,6	30,0	34,4	34,4	34,4	55,5	28,6	19,0	14,4	16,0	8,0	5,0	-0,74
56,6	56,6	30,0	60,0	64,6	64,6	55,6	52,3	35,6	26,2	16,0	8,0	10,0	-0,53
56,6	56,6	30,0	60,0	86,3	86,3	55,7	53,2	47,5	35,6	16,0	8,0	15,0	-0,36
56,6	56,6	30,0	60,0	90,0	103,4	55,8	53,1	49,1	41,1	16,0	8,0	20,0	-0,26
55,6	55,6	30,0	60,0	90,0	120	55,9	53,4	49,1	43,8	16,0	8,0	30,0	-0,22
45,3	45,3	30,0	34,4	34,4	34,4	43,0	23,5	15,8	12,0	12,0	8,0	5,0	-0,72
45,3	45,3	30,0	60,0	64,6	64,6	43,0	39,6	27,4	20,2	12,0	8,0	10,0	-0,53
45,3	45,3	30,0	60,0	86,3	86,3	43,9	41,9	36,8	27,8	12,0	8,0	15,0	-0,37
45,3	45,3	30,0	60,0	90,0	103,4	44,5	41,5	39,3	32,9	12,0	8,0	20,0	-0,26
45,3	45,3	30,0	60,0	90,0	120	45,2	41,5	39,3	34,8	12,0	8,0	30,0	-0,23
26,6	26,6	30,0	34,4	34,4	34,4	23,2	12,7	8,5	6,4	8,0	8,0	5,0	-0,72
26,6	26,6	30,0	60,0	64,6	64,6	25,5	24,5	16,6	12,2	8,0	8,0	10,0	-0,52
26,6	26,6	30,0	60,0	86,3	86,3	25,7	25,1	22,2	16,4	8,0	8,0	15,0	-0,36
26,6	26,6	30,0	60,0	90,0	103,4	26,0	24,5	22,7	18,8	8,0	8,0	20,0	-0,28
26,6	26,6	30,0	60,0	90,0	120	26,1	25,0	23,1	21	8,0	8,0	30,0	-0,20
14,2	14,2	30,0	34,4	34,4	34,4	13,6	7,2	4,9	3,7	6,0	8,0	5,0	-0,73
14,2	14,2	30,0	60,0	64,6	64,6	13,6	13,1	8,8	7,2	6,0	8,0	10,0	-0,47
14,2	14,2	30,0	60,0	86,3	86,3	13,7	13,2	11,6	8,8	6,0	8,0	15,0	-0,36
14,2	14,2	30,0	60,0	90,0	103,4	13,7	13,1	12,1	10,1	6,0	8,0	20,0	-0,26
14,2	14,2	30,0	60,0	90,0	120	13,8	13,1	12,1	11	6,0	8,0	30,0	-0,21

Tab n°6.14, le colonne 2=15, 30,45,60 mostrano l'estensione dell'ostruzione rispetto al punto centrale della facciata; le colonne wu 15, 30,45,60 mostrano i risultati di wu con le differenti estensioni di 2; mean u e Max u sono i rispettivi valori del gruppo di edifici preso in considerazione; Height e Width le rispettive dimensioni dell'ostruzione, D_15_60wu la variazione del valore di u calcolato tra 2 = 15 e 2 =60

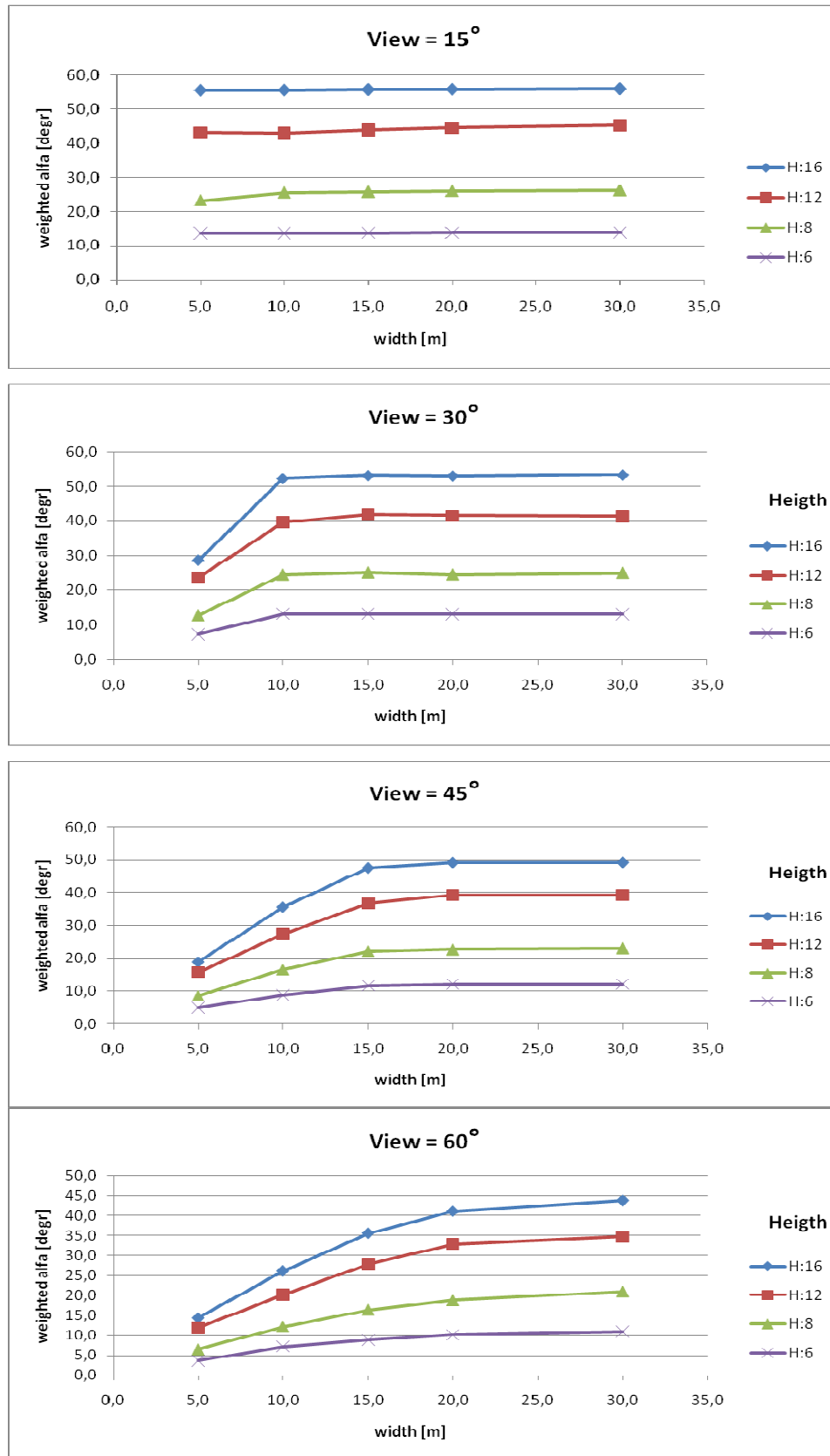



Fig. n°6.37, andamenti di wu in funzione della larghezza dell'ostruzioni con le diverse altezze e ampiezze

2

Esempio n°4

In questo esempio si vuole valutare se il tool è in grado di fornire un calcolo verosimile di wu in presenza di due edifici con valori u max differenti. Perciò si sono poste, in maniera centrata, due ostruzioni della larghezza di 15m ciascuna, ad una distanza di 8m dalla facciata e si sono poi fatte variare le due altezze.

Altezza ostruzioni H1	H	(1+½)*H	2*H		
Altezza ostruzioni H2	0	1/2*H	H	(1+½)*H	2*H

Di seguito lo schema grafico delle varie configurazioni utilizzate (fig.n°6.38), la tabella riportante tutti dati calcolati (tab. n°6.15) ed alcuni grafici con gli andamenti desumibili dai dati (fig.n°6.39).

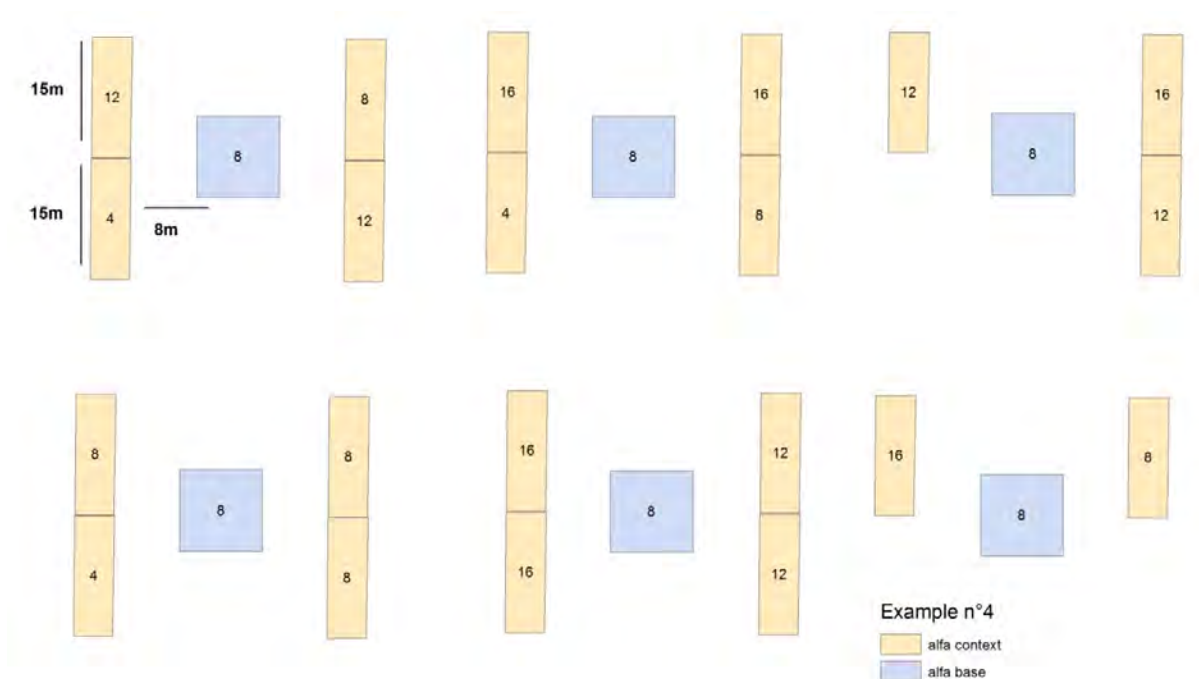



Fig. n°6.38 Configurazione delle ostruzioni

I grafici mostrano come all'aumentare della H2 ripetto alla H1 il valore di wu cresca proporzionalmente; nei casi di H2 =H1 i valori sono perfettamente compatibili con quelli calcolati nelle medesime condizioni nell'esempio n°1. Quando metà della vista è libera, il valore di wu scende a picco; ciò accade anche quando è presente un edificio con u <=0 perché il tool lo considera come assente. La presenza di un u negativo, ossia di una ostruzione che ha un'altezza inferiore alla media della facciata, farebbe abbassare il valore della somma delle ostruzioni, perciò viene impostato a zero anch'esso e l'edifico è come se non esistesse nella vista. Questo caso si può notare nel passaggio da H2 = 0 ad H2 = 1 dove i valori di wu sono

perfettamente identici, e dove per la presenza di parte della vista libera le variazioni generate da 2 sono maggiori (field. D_wu_15_60).

Mean u	**Max u**	**2=15**	**2=30**	**2=45**	**2=60**	**wu 15**	**Wu 30**	**Wu 45**	**wu 60**	**Height 1**	**Height 2**	**D_wu_15-60**
55,6	55,6	15,0	30	45,0	60,0	29,3	26,7	24,9	22,8	16,0	0,0	-0,22
28,0	55,9	30,0	60	90,0	120,0	29,3	26,7	24,9	22,8	16,0	4,0	-0,22
41,1	55,9	30,0	60	90,0	120,0	39,5	38,2	35,4	31,7	16,0	8,0	-0,20
49,7	55,4	30,0	60	90,0	120,0	48,7	46,6	43,1	39,2	16,0	12,0	-0,20
56,6	56,7	30,0	60	90,0	120,0	54,7	52,6	48,8	44,4	16,0	16,0	-0,19
45,3	45,3	15,0	30	45,0	60,0	23,0	21,4	19,7	17,8	12,0	0,0	-0,23
22,3	44,5	30,0	60	90,0	120,0	23,0	21,5	19,7	17,8	12,0	4,0	-0,23
35,6	44,8	30,0	60	90,0	120,0	34,8	32,8	30,5	27,8	12,0	8,0	-0,20
44,2	44,2	30,0	60	90,0	120,0	43,3	41,4	38,3	34,8	12,0	12,0	-0,20
49,7	55,4	30,0	60	90,0	120,0	48,7	47,0	43,1	39,2	12,0	16,0	-0,20
26,6	26,6	15,0	30	45,0	60,0	15,3	13,6	12,3	11,0	8,0	0,0	-0,28
13,2	26,3	30,0	60	90,0	120,0	15,3	13,6	12,3	11,0	8,0	4,0	-0,28
26,2	26,2	30,0	60	90,0	120,0	26,2	25,2	23,2	20,9	8,0	8,0	-0,20
35,6	44,8	30,0	60	90,0	120,0	34,8	33,0	30,5	27,8	8,0	12,0	-0,20
41,1	55,9	30,0	60	90,0	120,0	39,5	38,0	35,4	31,7	8,0	16,0	-0,20

Tab n°6.15, le colonne 2=15, 30,45,60 mostrano l’estensione dell’ostruzione rispetto al punto centrale della facciata; le colonne wu 15, 30,45,60 mostrano i risultati di wu con le differenti estensioni di 2; mean u e Max u sono i rispettivi valori del gruppo di edifici preso in considerazione; Height 1 e Height 1 le rispettive dimensioni dell’ostruzione, D_15_60wu la variazione del valore di u calcolato tra 2 = 15 e 2 =60

View = 15°

weighted alfa [degr]

Heigth 2 [m]

H1:16
H1:12
H1:8

View = 30°

weighted alfa [degr]

Heigth 2 [m]

Heigth 1
H1:16
H1:12
H1:8

View = 45°

weighted alfa [degr]

Heigth 2 [m]

Heigth 1
H1:16
H1:12
H1:8

View = 60°

weighted alfa [degr]

Heigth 2 [m]

Heigth 1
H1:16
H1:12
H1:8

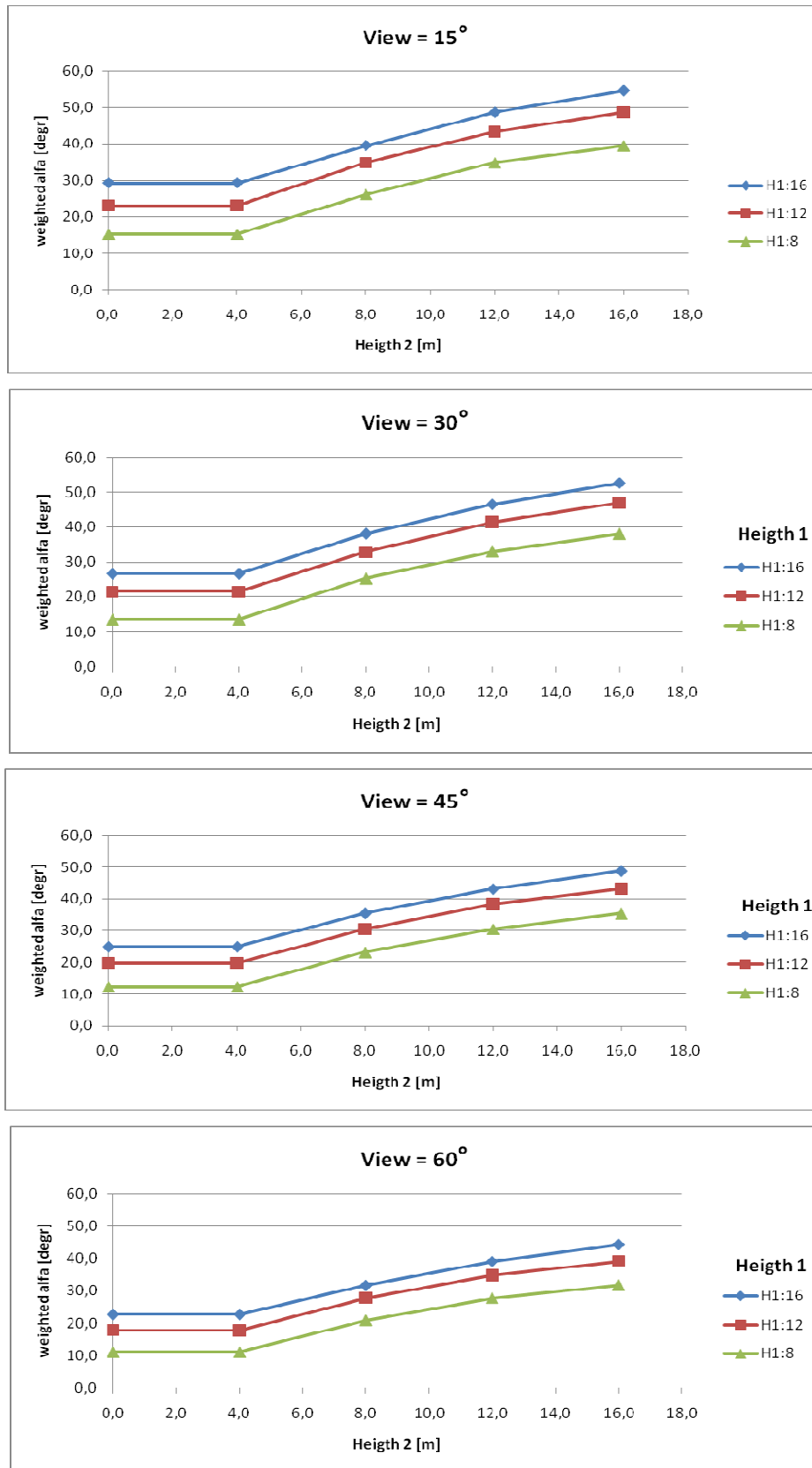



Fig. n°6.39, andamenti di wu in funzione dell'altezza della seconda ostruzione con le diverse ampiezze di 2

Esempio n°5

In questo esempio si vuole valutare se il tool è in grado di fornire un calcolo verosimile di wu in presenza di due edifici con valori u max differenti posti però a distanze differenti dalla facciata. Perciò si sono poste, in maniera centrata, due ostruzioni della larghezza di 15m ciascuna, la prima ad una distanza di 8m e la seconda di 20m, e si sono fatte variare le due altezze.

Altezza ostruzioni H1	H	(1+½)*H	2*H		
Altezza ostruzioni H2	0	1/2*H	H	(1+½)*H	2*H

Di seguito lo schema grafico delle varie configurazioni utilizzate (fig.n°6.40), la tabella riportante tutti dati calcolati (tab. n°6.16) ed alcuni grafici con gli andamenti desumibili dai dati (fig.n°6.43).

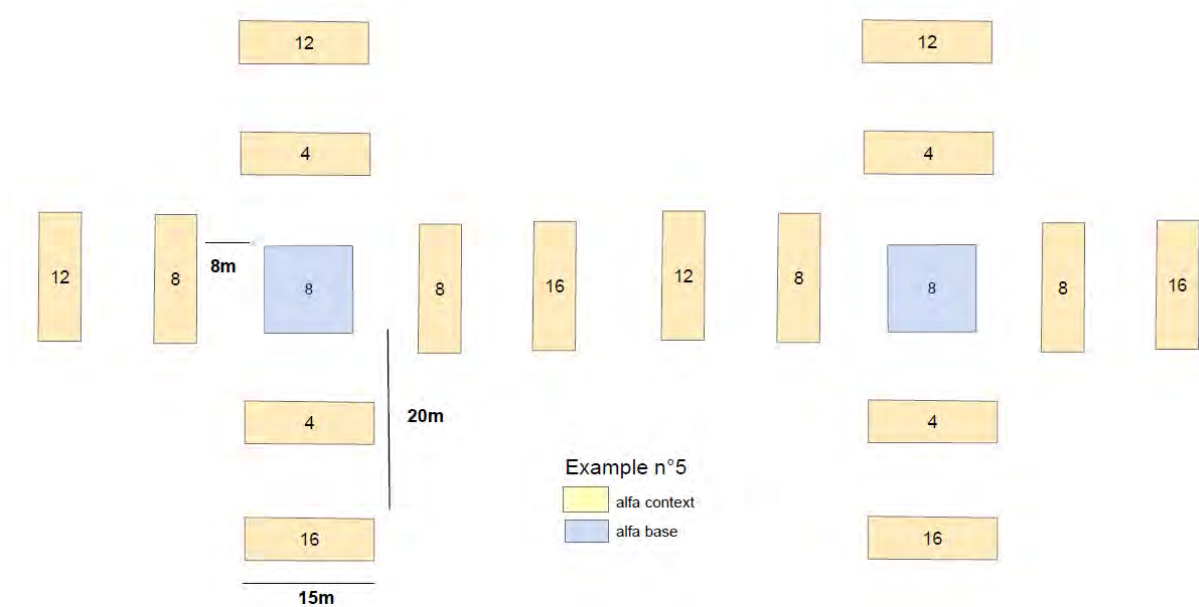



Fig. 6.40 configurazione delle ostruzioni

Nella tabella sono segnati in rosso i casi nei quali gli edifici posti dietro contribuiscono alla determinazione di wu, in tutti gli altri casi il valore di u max pesato dell'edificio antistante è maggiore di quelli retrostanti e perciò questi non contribuiscono alla determinazione di wu.

I grafici mostrano chiaramente l'andamento costante dei wu al variare di H2 nei casi di H1 = 12 e 16, e si può vedere l'influenza degli edifici retrostanti al variare di H2 nei casi di H1 =4 e 8. I valori delle estensioni superano 2*   2 solo quando i due edifici vengono considerati per il calcolo di wu (field,   = 15,30,45,60). Di seguito sono presenti alcuni schemi che possono aiutare a comprendere tali valori.

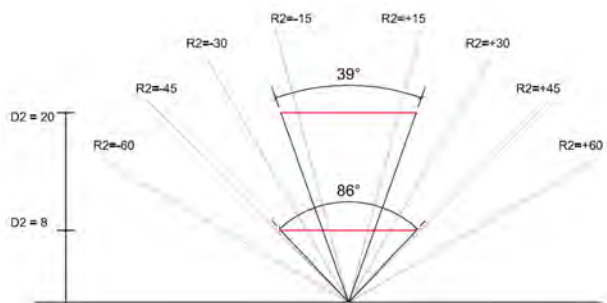



Fig n°6.41, vista in pianta delle due ostruzioni in rapporto alle varie ampiezze di 2

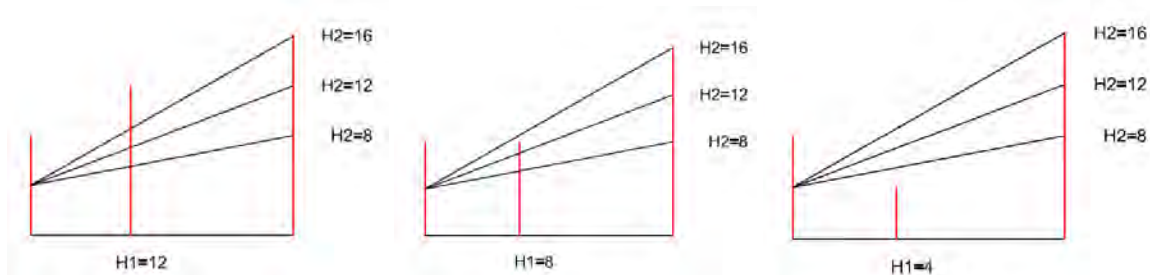



Fig n°6.42, vista laterale delle configurazioni dell'altezza della ostruzione

Mean u	Max u	2=15	2=30	2=45	2=60	wu 15	wu30	wu45	wu 60	Height 1	Height 2	Distance 1	Distance 2	D_wu_15-60
0,0	0,0	30,0	60,0	86,5	86,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	4,0	8,0	21,0	0,00
5,8	11,6	60,0	99,4	125,9	125,9	6,9	5,9	4,8	3,4	4,0	8,0	8,0	21,0	-0,51
10,5	20,9	60,0	99,4	125,9	125,9	13,8	9,7	8,1	4,8	4,0	12,0	8,0	21,0	-0,65
14,7	29,4	60,0	99,4	125,9	125,9	17,7	12,5	9,7	6,1	4,0	16,0	8,0	21,0	-0,65
25,8	25,8	30,0	60,0	86,5	86,5	23,2	21,0	14,8	11,3	8,0	4,0	8,0	21,0	-0,51
25,8	25,8	30,0	60,0	86,5	86,5	23,2	21,0	14,8	11,3	8,0	8,0	8,0	21,0	-0,51
25,8	25,8	30,0	60,0	86,5	86,5	23,2	21,0	14,8	11,3	8,0	12,0	8,0	21,0	-0,51
29,0	30,1	60,0	99,4	125,9	125,9	29,0	27,4	24,2	18,6	8,0	16,0	8,0	21,0	-0,36
45,2	45,2	30,0	60,0	86,5	86,5	43,9	41,9	36,8	27,8	12,0	4,0	8,0	21,0	-0,37
45,2	45,2	30,0	60,0	86,5	86,5	43,9	41,9	36,8	27,8	12,0	8,0	8,0	21,0	-0,37
45,2	45,2	30,0	60,0	86,5	86,5	43,9	41,9	36,8	27,8	12,0	12,0	8,0	21,0	-0,37
45,2	45,2	30,0	60,0	86,5	86,5	43,9	41,9	36,8	27,8	12,0	16,0	8,0	21,0	-0,37
56,1	56,1	30,0	60,0	86,5	86,5	55,7	53,2	47,5	35,6	16,0	4,0	8,0	21,0	-0,36
56,1	56,1	30,0	60,0	86,5	86,5	55,7	53,2	47,5	35,6	16,0	8,0	8,0	21,0	-0,36
56,1	56,1	30,0	60,0	86,5	86,5	55,7	53,2	47,5	35,6	16,0	12,0	8,0	21,0	-0,36
56,1	56,1	30,0	60,0	86,5	86,5	55,7	53,2	47,5	35,6	16,0	16,0	8,0	21,0	-0,36

Tab n°6.15, le colonne 2=15, 30,45,60 mostrano l'estensione della ostruzione rispetto al punto centrale della facciata; le colonne wu 15, 30,45,60 mostrano i risultati di wu con le differenti estensioni di 2; mean u e Max u sono i rispettivi valori del gruppo di edifici preso in considerazione; Height 1 e Height 1 le rispettive dimensioni della ostruzione; distance 1 e distance 2 sono le distanze alla quale si trovano le due ostruzioni; D_15_60wu la variazione del valore di u calcolato tra 2 = 15 e 2 =60.

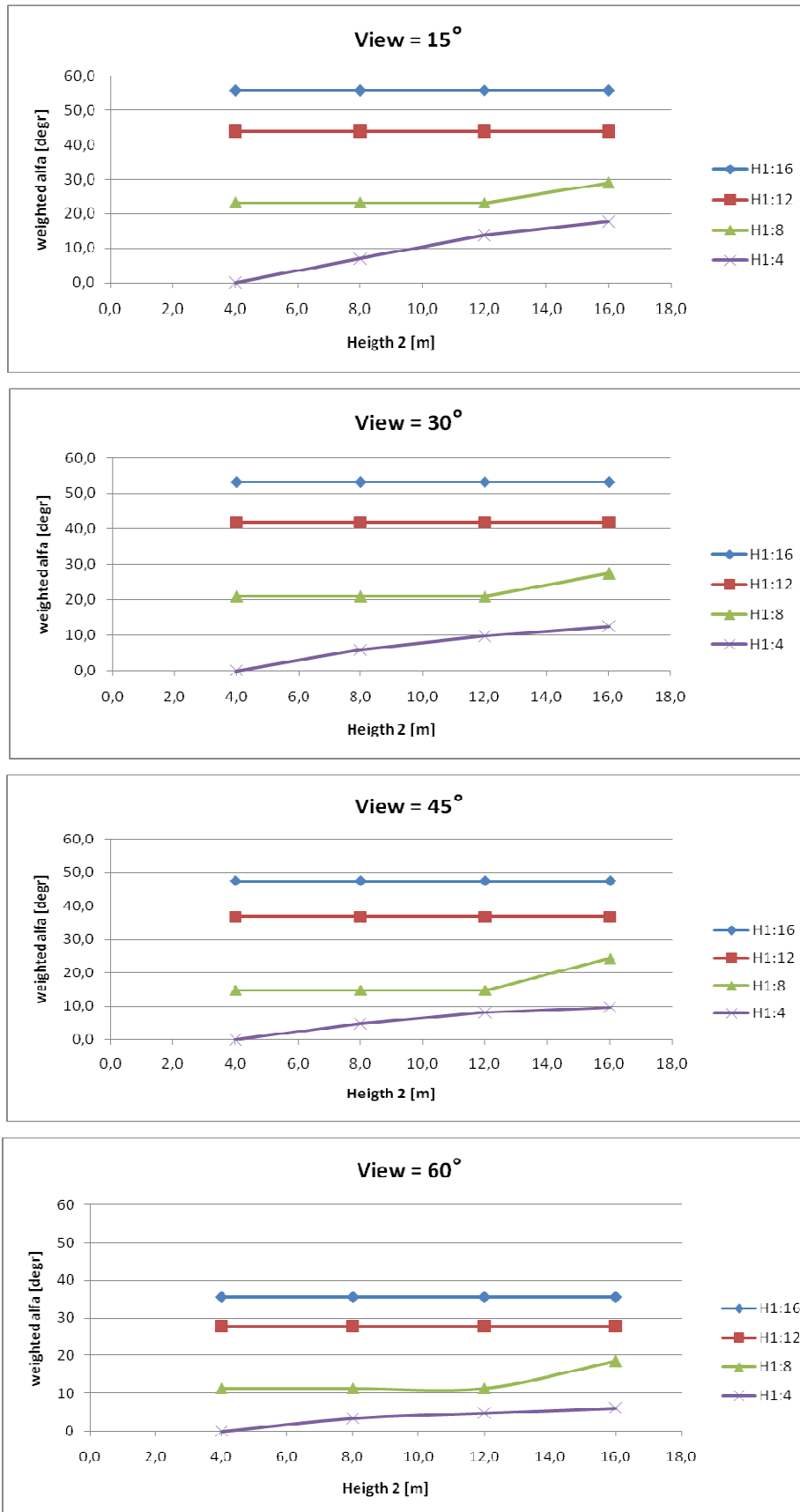



Fig. n°6.43, andamenti di wu in funzione dell'altezza della seconda ostruzione con diverse ampiezze di 2

Esempio n°6

Questo esempio ha lo scopo di valutare l'accuratezza di wu rispetto ai valore del UHA calcolato con la (5). A questo scopo si è ipotizzato un gruppo di edifici più complesso: si tratta di quattro edifici, il più vicino occupa buona parte della vista, ma presenta valori bassi di u, mentre in secondo piano vi sono tre edifici (fig. n°6.44, n°6.45): il centrale manterrà un'altezza fissa di 16m mentre i due laterali e quello frontale verranno fatti variare. I calcoli verranno svolti ponendo le ostruzioni a diverse distanze e fissando l'ampiezza della vista in $2 = 30$. con R = 10° e R° =5°.

I valori di wu mostrano valori molto alti di R^2 (tab. n°6.16, fig. n°6.46) sia per il calcolo con 12 intervalli (R = 5°) che in quello a 6 (R=10°); tale precisione è possibile in quanto i poligoni rappresentanti le ostruzioni sono di ampiezza molto simile a quella degli R; la presenza di poligoni di piccola dimensione può portare agli errori già descritti (fig. n°6.30).

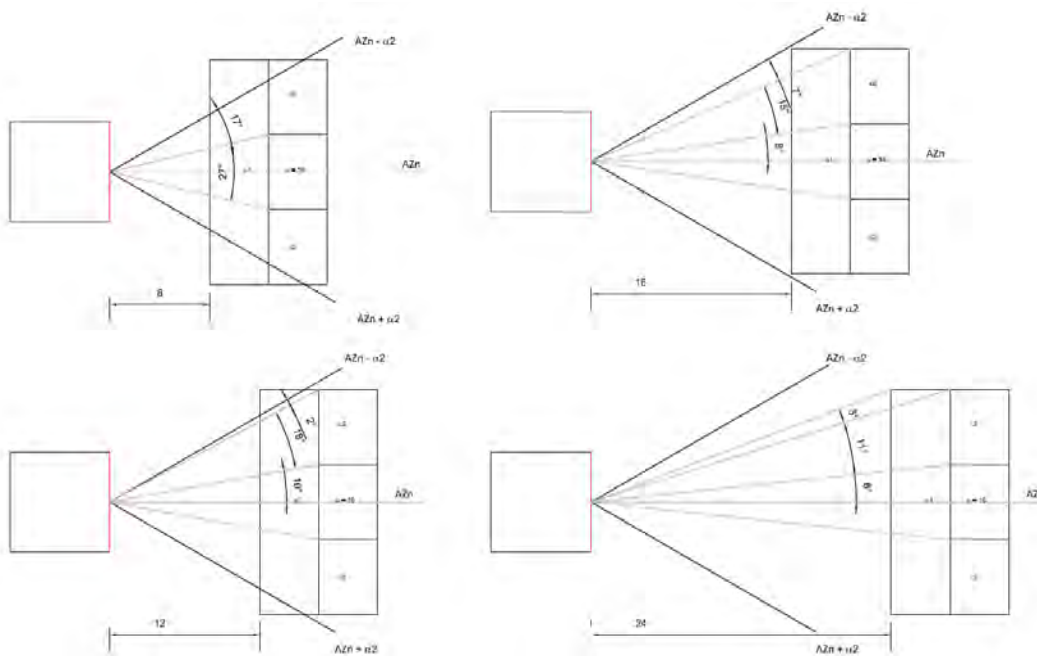



Fig.n°6.44, vista in pianta delle configurazioni delle ostruzioni

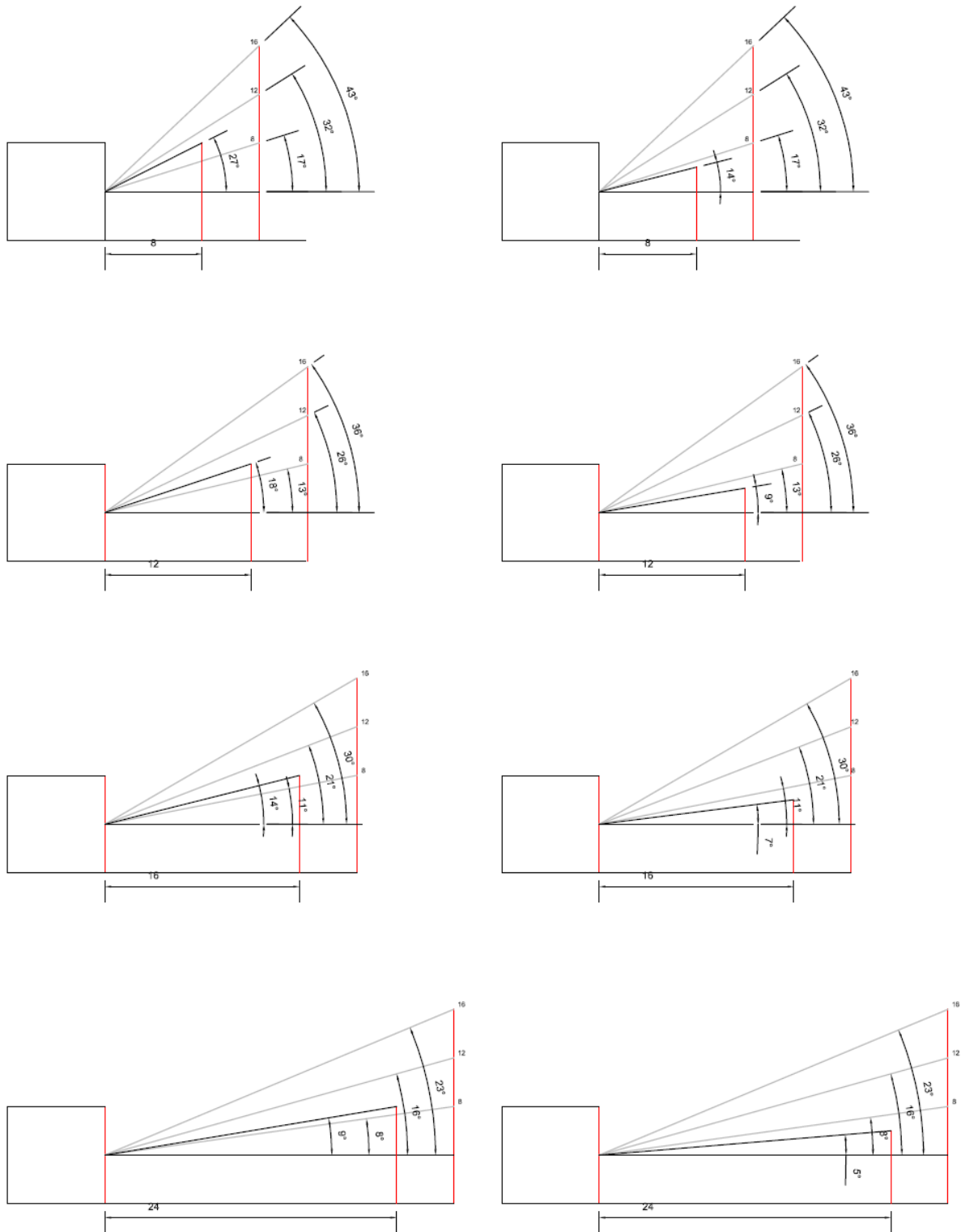



Fig.n°6.45, vista laterale delle configurazioni delle ostruzioni

distance	H1	H2	UHA	wu (5°)	wu (10°)	d (5°)	d (10°)
8	6	6	25,828	24,654	23,633	-0,045	-0,085
8	6	8	27,404	26,919	25,749	-0,018	-0,060
8	6	12	35,284	34,476	33,878	-0,023	-0,040
8	6	16	41,062	40,920	40,020	-0,003	-0,025
8	8	6	32,657	32,980	31,176	0,010	-0,045
8	8	8	32,657	32,599	31,514	-0,002	-0,035
8	8	12	35,284	33,978	33,288	-0,037	-0,057
8	8	16	41,062	40,978	40,782	-0,002	-0,007
12	6	6	17,082	17,652	16,132	0,033	-0,056
12	6	8	19,342	19,228	20,448	-0,006	0,057
12	6	12	26,687	26,325	27,970	-0,014	0,048
12	6	16	32,337	32,433	31,457	0,003	-0,027
12	8	6	22,167	22,077	21,637	-0,004	-0,024
12	8	8	22,167	22,002	21,511	-0,007	-0,030
12	8	12	26,687	24,977	22,569	-0,064	-0,154
12	8	16	32,337	32,654	32,181	0,010	-0,005
16	6	6	11,546	11,432	12,537	-0,010	0,086
16	6	8	13,468	13,357	13,089	-0,008	-0,028
16	6	12	18,272	18,172	17,353	-0,005	-0,050
16	6	16	22,596	22,432	20,582	-0,007	-0,089
16	8	6	14,909	14,744	15,663	-0,011	0,051
16	8	8	14,909	14,944	15,192	0,002	0,019
16	8	12	18,272	18,123	18,054	-0,008	-0,012
16	8	16	22,596	22,445	22,185	-0,007	-0,018
24	6	6	6,480	6,479	6,329	0,000	-0,023
24	6	8	7,556	7,554	6,588	0,000	-0,128
24	6	12	10,426	10,350	8,698	-0,007	-0,166
24	6	16	12,938	11,893	10,175	-0,081	-0,214
24	8	6	7,915	8,024	8,046	0,014	0,017
24	8	8	7,915	7,898	7,898	-0,002	-0,002
24	8	12	10,426	9,776	8,960	-0,062	-0,141
24	8	16	12,938	12,564	11,131	-0,029	-0,140

Tab n°6.16, le colonne wu (5°) e wu (10°) mostrano i risultati di wu con le differenti estensioni di R; UHA è il valore calcolato applicando la formula teorica; d(5°) e d(10°) la differenza tra wu e HUA; Height 1, l'altezza della prima ostruzione ed Height 2 l'altezza delle due ostruzioni in secondo piano; distance, distanze alla quale si trovano le due ostruzioni.

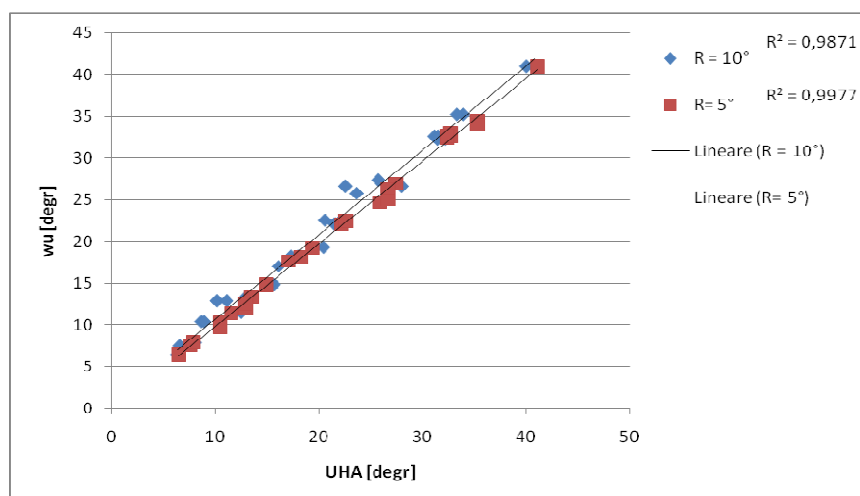



Fig. n°6.46 confronto tra i valori di wu e quelli di UHA con il calcolo a 6 o 12 intervalli R

Conclusioni

L'analisi della sensitività svolta ci mostra come, partendo da alcune condizioni semplificative, il tool sia capace di restituire valore di wu molto simili a quelli di UHA calcolati con la (5). Considerando che l'uso per il quale i tool è stato implementato è la determinazione del parametro angolare da inserire come input nella procedure di calcolo della norma, di per sé nato per semplificare la determinazione dei contributi dell'irraggiamento solare, si ritiene sufficiente, ed opportuno per la diminuzione dei tempi di calcolo, l'utilizzo di un R=10° con un 2=30° , per un totale di 6 intervalli. Al fine di minimizzare gli errori residui si avrà l'accortezza di semplificare la geometria degli edifici che costituiranno l'ostruzione qualora presentassero poligoni molto piccoli che rappresentano ad esempio tettoie, aggetti o torrini delle scale. In realtà gli elementi che definiscono il contesto sono per la maggioranza gli stessi semplici poligoni che rappresentano il perimetro degli edifici oggetto dello studio, (nel nostro caso ricavati dalla cartografica catastale) che raramente presentano forme complesse o elementi accessori. La preparazione della base dovrà essere presa in considerazione nei casi si abbia a disposizione una cartografia piuttosto dettagliata cercando di mediare tra la necessità di semplificazione e la perdita di informazione che ne consegue: se anche il valore di wu coincide con quello teorico, ma nella base mancano informazioni, si commette in ogni caso un errore, probabilmente maggiore. Nella metodologia proposta si è volutamente fatto ricorso a dati cartografici di ampia diffusione quali la cartografia catastale e quella tecnica regionale (CTR 1:10.000) che rappresentano l'edificato con poligoni di forme molto semplici privi di particolari, perciò il tool sviluppato sembra essere adeguato al grado di approssimazione che le stesse carte di base contengono.

6.2.9 Calcolo del fabbisogno netto dell'involucro

A questo punto abbiamo tutti i dati necessari per impostare il calcolo standard dei fabbisogni invernali ed estivi dell'involucro come definiti dalla norma; verranno presentati prima i calcoli per il regime invernale (toolset C_heating_need) e poi si discuterà riguardo a quelli per il regime estivo (toolset D_cooling_need). Il toolset C contiene altri toolset dedicati al calcolo: delle dispersioni per scambio termico (C1), delle dispersioni per ventilazione (C2), degli apporti per irraggiamento solare (C3), degli apporti interni (C4) e per il calcolo del fabbisogno netto dell'involucro (B5). In seguito mostreremo gli step del calcolo richiamando la formula della norma ed esplicitando le semplificazioni adottate sia per seguire l'approccio standard proposto dalla norma stessa che per esigenze di calcolo; si presenteranno, inoltre, alcuni risultati ottenuti nelle applicazioni di prova. Si specifica che per tutti i tools del gruppo C non sono necessari ulteriori input da parte dell'utente; la divisione in diversi toolset, che richiamano le fasi del calcolo della norma, oltre a facilitare i calcoli all'elaboratore, è funzionale alla trasparenza della procedura di calcolo permettendo il controllo dei risultati e dei calcoli intermedi.

- C_heating_shell_need
  - C1_shell_heat_loss
    - C11_shell_H[W/mk]
    - C12_Extra_flux_vertical_surfaces
    - C13_shell_heating_Qth[kWh]
  - C2_Ventilation_heat_loss
    - C21_ventilation_H[W/k]
    - C22_heating_Qveh[kWh]
  - C3_Solar_heat_gains
    - C31_solar_shade_factors_new
    - C32_solar_gains_orizontal_FI_calculation
    - C33_solar_gains_Vertical_FI_calculation
    - C34_windows_gains_FI_calculation
    - C35_heating_Qsolh[kWh]
  - C4_Internal_heat_gains
    - C41_internal_gains_FI_calculation
    - C42_heating_Qinth[kWh]
  - C5_need
    - C51_FUh_calculation
    - C52_heating_need
- D_cooling_need

Fig.n°6.47, diagramma ad albero del toolset C

6.2.9.1 Calcolo del coefficiente globale di scambio termico (C11)

Il coefficiente globale rappresenta la misura dello scambio termico per trasmissione di calore tra la zona riscaldata e l'esterno attraverso l'involucro, esso è ottenuto dalla somma dei coefficienti di scambio termico delle varie superfici disperdenti dell'involucro: chiusure verticali opache e trasparenti, pareti verso vani non riscaldati, solaio di base e copertura.

$$H_{tr} = H_D + H_g + H_U + H_A \qquad [W/k] \qquad (1)$$

Dove:
H_{tr} = coefficiente di scambio termico per trasmissione
H_D = coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno
H_g = coefficiente di scambio termico stazionario o per trasmissione verso il terreno
H_U = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso ambienti non climatizzati
H_A = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso altre zone (interne o meno all'edificio) climatizzate a temperatura diversa; con le nostre ipotesi di calcolo questo contributo è nullo in quanto le temperature dei vani climatizzati sono supposte uguali tra loro.

$$HD = \sum_k Uwallk * Wallexk + \sum i\, Uwindi * Windsufi + Aroof*Uroof \qquad (2)$$

Con:
$Wallex_k$ = superfici murarie esterne
$WindSurf_i$ = superfici finestrate
$Uwall_k$= trasmittanza termica dell'elemento murario k
$Uwind_i$= trasmittanza termica della superficie finestrata i
Aroof = area disperdente della copertura
Uroof = valore di trasmittanza termica della copertura

Nel nostro caso però viene assegnato lo stesso valore di U a tutte le superfici murarie esterne; la semplificazione, presente anche nel software DOCET, è necessaria perché in generale la vera composizione dei paramenti murari non è conoscibile se non per esplorazione diretta. Negli edifici più antichi poi sono spesso presenti parti realizzate in anni diversi con diverse soluzioni costruttive, perciò l'assegnazione di un parametro unico di U è già di per sé una forte semplificazione rispetto alla complessità del reale proposta dalla norma stessa in favore della limitazione dei costi. Per le superfici finestrate si prende in considerazione direttamente un valore di trasmittanza globale dell'infisso e lo si considera per tutte le superfici trasparenti dell'immobile; anche il software semplificato da la possibilità di impostare un solo valore di U per le finestre, ma permette anche maggiori specificazioni. La determinazione delle superfici murarie e finestrate disperdenti per ogni immobile è già stata effettuata (tool B1); perciò la formula precedente diventa la semplice moltiplicazione delle superfici per la trasmittanza dell'elemento. Per quanto riguarda la copertura tra i dati di input sono presenti sia le coperture inclinate che quelle orizzontali suddivise per anno di costruzione: il tool è capace di associare la struttura corretta ad ogni edificio grazie al dato fornito dall'operatore circa la direzione azimutale della copertura: se il valore inserito è -1 si tratta di solaio orizzontale altrimenti di copertura a falda.

$$H_D = Uwall*Wallex+Uwind*Windsurf+Uroof*Aroof \qquad (3)$$

Con
Wallex = superfici murarie esterne [mq]
WindSurf = superfici finestrate [mq]
Aroof = superficie disperdente di copertura, ossia l'area netta del piano tipo [mq]
Uwall = trasmittanza termica dell'elemento murario [W/k mq]
Uwin = trasmittanza termica della superficie finestrata [W/k mq]
Uroof = trasmittanza termica della copertura [W/k mq]

Dove

$$Aroof = Aft-Pp*dm -(Pp- Stairs\ L)*dm_1 – Stairs\ L * dm_2) \qquad (4)$$

Con:
Aft = area lorda del piano tipo, ossia l'area del poligono rappresentante il perimetro dell'edifico
Pp = perimetro del poligono rappresentante l'edifico
Stairs L = Perimetro ipotizzato di contatto tra il vano scala e l'ambiente riscaldato, inserito nell'Archetype
dm_1 = spessore della muratura esterna[m], preso dagli abachi
dm_2 = spessore della muratura interna [m], preso dagli abachi

Per legare l'edificio alle caratteristiche degli elementi costruttivi verrà sempre utilizzato il valore dell'anno di costruzione associato ai poligoni tramite l'assegnazione dell'archetipo avvenuta con i toolset A. Il limite di tale metodo sta nel permettere la definizione di un solo tipo di struttura edilizia (muratura, copertura, basamento, finestre, muro verso vano scala) per periodo di costruzione. Si è scelto di utilizzare questo metodo sia perché generalmente è sufficiente a spiegare la variabilità delle soluzioni costruttive nei tessuti urbani consolidati e sia perché ben si adatta alla definizione speditiva delle caratteristiche delle tipologie edilizie e dei materiali utilizzata nella metodologia proposta. Uno studio più dettagliato delle tipologie edilizie presenti e delle soluzioni tecniche utilizzate potrebbe ovviare a questo limite ma sicuramente a scapito della semplicità del modello e con un aumento del lavoro necessario a preparare i dati di input del calcolo.

La determinazione di Hg ed Hu viene effettuata utilizzando i prospetti 5 e 6 della norma per la determinazione semplificata dei fattori di correzione per lo scambio termico con ambienti non riscaldati con una procedura funzionale alla esecuzione alla immissione dei dati:

$$H_g = Hbase = Aft*Ubase*bx \qquad (5)$$

Con:

Hbase = coefficiente di scambio termico del solaio di base

Aft = area del solaio di base, ossia l'area del poligono rappresentante l'immobile

Ubase = trasmittanza del solaio di base

bx = fattore di correzione per lo scambio termico col terreno o con vani a differente temperatura

Nel nostro caso il tipo di chiusura di base viene inserito dall'operatore per ogni edificio durante la fase A tramite l'uso di un codice che individua sia il tipo di struttura di base, e quindi la U da utilizzare, che l'adeguato fattore di correzione (tabella n°1) . In particolare tra i dati di input sono inserite le strutture di base relative ai solai contro terra, solai di base esterni, solai verso altri locali. Come si può notare nel caso del piano pilotis, il coefficiente è pari a uno e si ritorna ad una normale superficie esterna; nel caso di locali commerciali riscaldati il coefficiente è zero in quanto non vi è scambio termico, mentre i fattori di correzione dei casi da 1 a 4 sono presi dai prospetti 5 e 6 della UNI 11300.

btrx	Codice	Descrizion
0,45	1	pavimento controterra
0,8	2	pavimento su vespaio areato
0,5	3	seminterrato senza finestre
0,8	4	seminterrato con finestre o aperture esterne
1	5	Piano pilotis
0	6	Locale commerciale, riscaldato
0,5	7	locale artigianale non o debolemente riscaldato
0,8	8	Locale non riscaldato > 3 lati esterni
0,6	9	Locale non riscadato 2 lati esterni

Tab. n°6.17, coefficienti per le chiusure di base in base ai quali si individua l'abaco delle strutture edilizie da cui prendere i dati (chiusure di base contro terra, chiusure di base esterne, solai interni) e si assegna il fattore di correzione.

Nel caso delle superfici verso il vano scala il fattore btrx è inserito come dato nella definizione degli archetipi e deriva dal prospetto 5 della norma, perciò la formula può essere riscritta come segue:

$$H_U = Hwint = Wallint*Uwint*bx \qquad (6)$$

Con:

Hwint = coefficiente di scambio termico della parete verso il vano scala

Wallint = superficie disperdente verso il vano scala

bx = fattore di correzione per lo scambio termico con ambienti confinati

il fattore Ha non viene considerato: se gli ambienti sono riscaldati li si considera alla stessa temperatura; tale semplificazione è adottata anche dal software DOCET.

La formula (1) per il calcolo della coefficiente globale di scambio termico diventa

$$H_{tr} = H_D + Hwint + Hbase \ [W/k] \qquad (7)$$

6.2.9.2 Calcolo dell'extraflusso (C12)

Per il calcolo dell'extraflusso si farà riferimento alle semplificazioni per il calcolo in regime standard presenti nella 11300 e nella UNI EN ISO 13790:2008; la formula è la seguente:

$$ExFlu = \sum Fr_k * \Phi_K \qquad [W] \qquad (8)$$

L'extraflusso deve essere valutato per ogni superficie disperdente esterna dell'immobile; nel nostro caso però la correzione della superficie muraria esterna per la presenza del vano scala non viene considerata, ossia la superficie esterna di ogni edifico viene considerata sulla base del file lineare in output del B1 contenente solo la superficie muraria esterna e la superficie finestrata di ogni facciata.

$$Fr_k = Fsh_k *(1-\cos S_k)/2 \qquad (9)$$

Con:

Fsh_k = fattore di ombreggiamento ricavato dai prospetti D1 della norma, utilizzando il valore i alfa ed un orientamento azimutale sempre a nord

S_k = inclinazione della superficie, nel nostro caso solo 0 per le coperture e 90 per le chiusure verticali

$$\Phi_K = Rse*U_k*A_k*hr_k*\Delta \qquad (10)$$

Con:

Rse = 0,04, resistenza termica superficiale esterna

U_k = trasmittanza dell'elemento disperdete esterno k-esimo (muri, finestre, coperture)

A_k = area dell'elemento k-esimo

$Hr_k = 5*e_k$ dove e [W/(mq*K)] = emittanza dell elemento k-esimo, generalmente 0,9

$\Delta = 11K$, differenza di temperature tra l'aria esterna le la temperature apparente del cielo

Il tool C12 calcola l'extraflusso considerando le semplificazioni per il calcolo standard e gli elementi calcolati precedentemente per ogni facciata quali i valori di alfa, le superfici murarie esterne e la superficie finestrata.

6.2.9.3 Dispersioni per trasmissione attraverso l'involucro (C13)

Il tool possiede tutti i dati per calcolare le dispersioni per trasmissione di calore attraverso l'involucro per ogni mese della stagione di riscaldamento, secondo la formula proposta dalla norma:

$$Qht = Htr*(_{int} - _{est})*t + ExFlu*t \qquad (11)$$

Con:

Qht = perdita di calore per scambio termico attraverso l'involucro, nella stagione di riscaldamento [kWh]

$_{int}$ = temperatura interna, la norma prevede 20c° ma è un paramento settabile del tool

$_{est}$ = temperatura media mensile estratta dai dati climatici provinciali

t = $3600*24*GR*2,79*10^{-7}$; con GR i giorni di riscaldamento specifici per la zona climatica del comune

il tool è in grado di calcolare le dispersioni per tutti i comuni inseriti nella 10349, fornisce inoltre un dato annuo mediato sulla superficie utile dell'edificio. In seguito si mostrerà un confronto tra i risultati ottenibili da RET e da DOCET per un gruppo di edifici ideali in modo da esplicitarne differenze e peculiarità.

6.2.9.4 Calcolo del coefficiente globale di scambio termico per ventilazione (C21)

In accordo con le formule della norma (punti 5.2 e 12.1.1) per il calcolo standard, il Coefficiente globale di scambio termico per ventilazione verrà determinato in funzione del volume netto riscaldato e senza considerare la presenza di sistemi di ventilazione forzata o di recupero di calore.

$$Hve = c*q*VolUt \qquad (12)$$

Con

Hve= coefficiente globale di scambio termico per ventilazione [J/hk]

c = 1200 [J/(m3*K)], capacità termica volumica dell'aria

q = 0,3 [m3/h], tasso di ricambio dell'aria

VolUt = volume netto climatizzato calcolato nel tool A4

6.2.9.5 Calcolo dello scambio termico per ventilazione nel caso del riscaldamento (C22)

Il tool possiede tutti i dati per calcolare le dispersioni per ventilazione per ogni mese della stagione di riscaldamento, secondo la formula proposta dalla norma:

$$Qhve = Hve*(_{int} - _{est})*t \qquad (13)$$

Con:

Qhve = perdita di calore per scambio termico per ventilazione nella stagione di riscaldamento [kWh]

$_{int}$ = temperatura interna, la norma la prevede 20c° ma è un paramento settabile del tool

$_{est}$ = temperatura media mensile estratta dai dati climatici provinciali

t = $24*GR*2{,}79*10^{-7}$; con GR i giorni di riscaldamento specifici per la zona climatica del comune

il tool è in grado di calcolare le dispersioni per tutti i comuni inseriti nella 10349, inoltre fornisce un dato annuo mediato sulla superficie utile dell'edificio. Il confronto con i risultati ottenuti con DOCET mostra risultati molto simili in quanto anche le semplificazioni sono le stesse, l'unico elemento di differenza è la determinazione del volume netto climatizzato.

6.2.9.6 Calcolo del flusso termico solare mediato nel tempo (C32,C33,C34)

Il calcolo deve essere effettuato per ogni mese dell'anno su ogni superficie esterna verticale ed orizzontale utilizzando le formule presentate dalla norma (punti 5.3, 14.3, 14,4). Seguendo il diagramma (fig. n°1) il calcolo procederà nel seguante modo: prima il tool C31 assegna i valori dei fattori di ombreggiamento in funzione dei parametri angolari wu ricavati precedentemente col toolset B, poi si calcolerà separatamente il flusso termico sulle superfici verticali (C33), quelle orizzontali (C32) e sulle finestre (C34) ed infine combinando le tre componenti si otterranno gli apporti termici solari totali e rapportati alla superficie utile dell'edificio (C35).

6.2.9.6.1 Superfici verticali opache (C33) e trasparenti (C34)

Il flusso nelle superfici verticali va calcolato per ogni facciata dell'edificio in quanto è dipendente dall'orientamento azimutale e dal fattore di ombreggiamento; inoltre il calcolo viene effettuato in maniera diversa tra le superfici trasparenti e quelle opache.

Al variare dell'orientamento azimutale e del mese dell'anno varia il valore di irraggiamento su superfici verticali fornito dalla UNI 10439, e il fattore di ombreggiamento (tab. n°6.18). Più precisamente il fattore di ombreggiamento delle superfici verticali è definito come la moltiplicazione di tre fattori: il fattore di ombreggiamento per ostacoli esterni Fhor (prospetti D1 della UNI 11300-1), il fattore di ombreggiamento per aggetti orizzontali Fov (prospetto D2 della UNI 11300-1), il fattore di ombreggiamento per aggetti verticali Fint (prospetto D3 della UNI 11300-1).

Angolo su orizzonte	36° N latitudine			38° N latitudine			40° N latitudine			42° N latitudine			44° N latitudine			46° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	0,97	0,86	0,83	0,95	0,85	0,83	0,94	0,83	0,83	0,93	0,81	0,83	0,91	0,80	0,83	0,88	0,76	0,83
20°	0,85	0,67	0,67	0,82	0,65	0,67	0,77	0,63	0,67	0,70	0,60	0,67	0,59	0,58	0,67	0,47	0,54	0,67
30°	0,46	0,47	0,52	0,34	0,45	0,52	0,25	0,44	0,52	0,15	0,44	0,52	0,09	0,44	0,52	0,05	0,39	0,52
40°	0,05	0,37	0,38	0,05	0,33	0,38	0,05	0,30	0,38	0,05	0,27	0,38	0,05	0,23	0,38	0,04	0,21	0,38

Tab. n°6.18, esempio di prospetto D1 della UNI 11300. In questo caso è la tabella D1 riferita a gennaio: la tabella fornisce, alle diverse latitudini ed orientamento, il valore del fattore di ombreggiamento per ostruzioni esterne al variare dell’angolo sull’orizzonte u.

Partendo dal file lineare (ottenuto dal toolset B) contenente l’informazione delle superfici disperdenti esterne (muraria e finestrata) il tool combina i dati climatici ed i fattori di ombreggiamento con la seguente formula (il primo fattore è il termine che calcola il flusso nelle superfici trasparenti, le finestre, il secondo è il fattore relativo al calcolo del flusso sulle superfici opache, muri esterni):

$FsolWind_k = Fov_b*Fhor_k*Fint_b*Ff*Ggl*(windsurf)*((1-fsw)*Ggl +fsw*Gglsh)/ Ggl * IrrV_k$ (14)

$FsolOpacV_k = Fov_b*Fhor_k*Rse*Uwall_b*Wallex_k*ass_b* IrrV_k$ (15)

Con:

$FsolOpacV_k$ = flusso solare nella superficie opaca della facciata k-esima per un giorno medio mensile [MJ/giorno]

$FsolWind_k$ = flusso solare nella superficie finestrata in della facciata k-esima per un giorno medio mensile [MJ/giorno]

$Fhor_k$ = fattore di ombreggiamento per ostacoli esterni, calcolato partendo dai prospetti D1 utilizzando i valori secondo la direzione azimutale semplificata (8 direzioni) ed interpolando i valori secondo il valore di alfa di ogni facciata.

Fov_b= fattore di ombreggiamento per aggetti orizzontali, il valore dell’angolo di ostruzione degli aggetti orizzontali viene fornito tra i dati dell’archetipo, il fattore di ombreggiamento viene calcolato scegliendo i valori secondo la direzione azimutale semplificata ed interpolando sull’effettivo valore dell’angolo di ostruzione.

$Fint_b$ = fattore di ombreggiamento per aggetti verticali, il valore dell’angolo di ostruzione degli aggetti orizzontali viene fornito tra i dati dell’archetipo, il fattore di ombreggiamento viene calcolato scegliendo i valori secondo la direzione azimutale semplificata ed interpolando sull’effettivo valore dell’angolo di ostruzione. In questa applicazione del tool il valore non è stato utilizzato sia per esigenze di semplificazione, sia perché una corretta definizione dello stesso avrebbe necessità di uno studio più approfondito delle tipologie edilizie.

Ff = frazione di area relativa al telaio della finestra, valore fornito nella definizione degli elementi di fabbrica trasparenti, differente per anno di costruzione.

Ggl = trasmittanza di energia solare, valore fornito nella definizione degli elementi di fabbrica trasparenti, differente per anno di costruzione, desunto dal prospetto 13 della norma e moltiplicato per un fattore di esposizione di 0,9.

Gglsh = fattore di riduzione per l'uso delle schermature mobili ossia il rapporto tra la trasmittanza di energia solare della superficie vetrata durante l'uso della schermatura e Ggl, nel tool può essere utilizzato oppure no.

fsw = fattore di riduzione per schermature mobili, tratto per interpolazione dal prospetto 15 della norma (tab. n°6.19), dipendente dalla direzione azimutale della facciata e dal mese preso in considerazione; nel tool può esserne settato l'utilizzo oppure no. Questo parametro è la frazione di tempo in cui la schermatura solare è utilizzata, ricavata come rapporto tra la somma dei valori orari di irradianza maggiori di 300 W/m2 e la somma di tutti i valori orari di irradianza del mese solare considerato incidente sulla finestra: ossia l'utente utilizza la schermatura quando l'irradianza supera una certa intensità. Si può notare come, a causa della inclinazione dei raggi solari, per un orientamento sud il parametro abbia una influenza maggiore nei mesi invernali mentre ad Est ed a Ovest l'influenza sia maggiore nella stagione estiva; per la mancanza di irraggiamento diretto, il valore del parametro nelle facciate a nord è zero.

Windsurf = superficie finestrata della facciata, calcolata precedentemente

$IrrV_k$ = Irradianza solare media mensile [MJ/giorno]su superficie verticale, fornita dai dati climatici provinciali differente per ogni orientamento azimutale semplificato

Rse = 0,04, resistenza termica superficiale esterna

$Uwall_b$ = trasmittanza della superficie muraria esterna del b-esimo edificio

$Wallex_k$ = area della superficie muraria esterna; anche in questo caso non viene considerata la diminuzione della superficie muraria esterna per la presenza del vano scale.

ass_b = fattore di assorbimento solare di un componente opaco, fornito dall'operatore (tools A) secondo il colore della superficie muraria dell'edificio (0,3 chiaro; 0,6 medio; 0,9 scuro)

Fattore di riduzione per le schermature mobili, $f_{sh,with}$

Mese	Nord	Est	Sud	Ovest
1	0,00	0,52	0,81	0,39
2	0,00	0,48	0,82	0,55
3	0,00	0,66	0,81	0,63
4	0,00	0,71	0,74	0,62
5	0,00	0,71	0,62	0,64
6	0,00	0,75	0,56	0,68
7	0,00	0,74	0,62	0,73
8	0,00	0,75	0,76	0,72
9	0,00	0,73	0,82	0,67
10	0,00	0,72	0,86	0,60
11	0,00	0,62	0,84	0,30
12	0,00	0,50	0,86	0,42

Tab. n°6.19, Fattore di riduzione per schermature mobili, prospetto 15 della UNI 11300 parte 1

Il software semplificato per la certificazione energetica DOCET tiene conto della presenza degli aggetti orizzontali solo nella modalità avanzata di inserimento dei dati riguardanti le superfici finestrate e gli assegna il valore standard corrispondente a 10°. Nella modalità di certificazione più semplificata, da noi utilizzata per confrontare i risultati del RET, DOCET non terrà in considerazione Fov inoltre il software non

considera mai il fattore Fint per gli aggetti verticali: tali semplificazioni comporteranno stime del flusso solare più elevate rispetto a quelle del RET.

6.2.9.6.2 Superfici orizzontali (C32)

Per la valutazione del flusso nelle superfici orizzontali il calcolo proposto nella norma risulta semplificato in quanto il valore di Irradianza solare media mensile su superficie orizzontale, fornito dai dati climatici, è considerato perpendicolare alla superficie perciò non dipendente dall'ombreggiamento. Nel nostro caso semplificato non si considerano presenti superfici trasparenti nella copertura ed inoltre, come previsto nel calcolo della norma, verrà trascurata l'inclinazione della superficie della copertura assimilando di fatto il caso delle coperture a falda con quelle orizzontali. La formula perciò diventa:

$$FsolO_b=Rse*Uroof_b*Aroof_b*ass_b* IrrO \qquad [MJ/giorno] \qquad (16)$$

Con:

$FsolO_b$ = flusso solare della copertura del b-esimo edificio per un giorno medio mensile

IrrO = Irradianza solare media mensile [MJ/giorno]su superficie orizzontale, fornita dai dati climatici

Rse = 0,04, resistenza termica superficiale esterna

$Aroof_b$ = area della copertura, ossia nel nostro caso l'area del poligono rappresentate l'edifico

$Uroof_b$ = trasmittanza dell'elemento di copertura, assegnata precedentemente nel tool C11

6.2.9.7 Calcolo degli apporti temici solari (C35)

Il calcolo verrà effettuato semplificando la formula della norma (punto 5.3) trascurando il contributo degli ambienti confinanti non climatizzati. Salvo casi particolari, quali la presenza di serre solari, il contributo può essere molto limitato e comunque una sua valutazione presupporrebbe una maggiore conoscenza delle caratteristiche dell'edificio, tale presupposto semplificativo è inoltre applicato anche da DOCET.

Il calcolo verrà effettuato per ogni mese dell'anno e ne verrà data anche una valutazione annuale mediata sulla superficie utile dell'edificio. Considerando gli elementi già in nostro possesso la formula del calcolo dell'apporto termico diventa:

$$Qsol = (\sum Fsol_k + FsolO_b)*t \qquad [kWh] \qquad (17)$$

Con:

Qhsol = guadagno di calore mensile medio per irraggiamento solare nella stagione di riscaldamento

$\sum Fsol_k$ = sommatoria degli $Fsol_k$ per ogni edificio

$FsolO_b$ = flusso solare della copertura del b-esimo edificio per un giorno medio mensile

t = GR/3,6; con GR i giorni di riscaldamento specifici per la zona climatica del comune

6.2.9.8 Esempio di Calcolo degli apporti solari con il toolset C3

Esempio n°7

Per valutare la correttezza dei calcoli effettuati da RET e la sua sensitività ai fattori di ombreggiamento si è impostato un caso di studio ideale dove fossero presenti tutti gli orientamenti delle facciate e varie condizioni di ostruzione e lo si è confrontato con i risultati ottenuti dal software semplificato DOCET. In particolare si è utilizzato un edificio di forma regolare con le facciate orientate secondo le otto direzioni azimutali principali e si sono poste ad una distanza costante (10m) alcune ostruzioni di altezza variabile (0m, 6m, 8m, 12m) e larghezza costante (fig. n°6.48). Per garantire le stesse condizioni di calcolo sia per il tool di RET che per DOCET, il caso ideale si è impostato con i seguenti accorgimenti:

- la distanza delle ostruzioni esterne è quella standard (10m) che DOCET utilizza nei calcoli nel caso si setti un "contesto urbano";
- non sono presenti i parametri angolari relativi all'ombreggiatura generata dagli elementi dello stesso edificio;
- l'orientamento azimutale delle facciate coincide con quelle impostabili nel software DOCET, ed è presente una sola ostruzione per ogni direzione;
- Poiché non si conoscono le impostazioni dei parametri *Gglsh e fsw* relativi all'uso delle schermature mobili inserite nel software DOCET questi non saranno considerati.

I grafici (fig. n°6.49abc) mostrano l'andamento dell'irraggiamento unitario su superfici finestrate con diverso orientamento e con la presenza di un diverso livello di ombreggiamento da parte di ostruzioni esterne. I trend, calcolati con i dati climatici di Cagliari, mostrano correttamente valori più alti di irraggiamento per gli orientamenti S/E e S/O, ed evidenziano come l'influenza delle ostruzioni vari durante l'anno in funzione dell'orientamento. Nelle facciate rivolte a sud, S/E e S/O i mesi invernali sono quelli più influenzati dalla presenza delle ostruzioni esterne in quanto i raggi solari sono più inclinati, mentre nelle altre l'influenza maggiore è in quelli estivi in quanto assume maggior rilievo la componente diffusa della radiazione solare. In una situazione priva di ombreggiamento le facciate che ricevono una quantità di energia maggiore sono quelle a S/E e S/O, ma con la presenza di un ostacolo esterno il loro valore diventa leggermente inferiore a quello della facciata sud (fig. n°6.50 e fig. n°6.51).

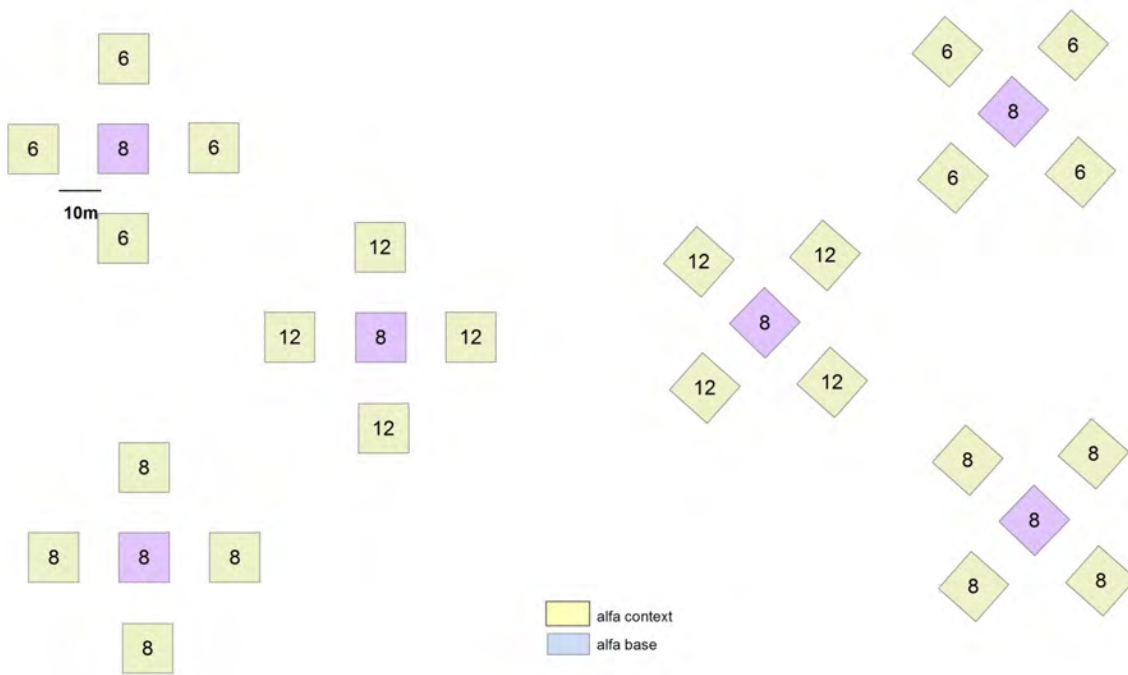
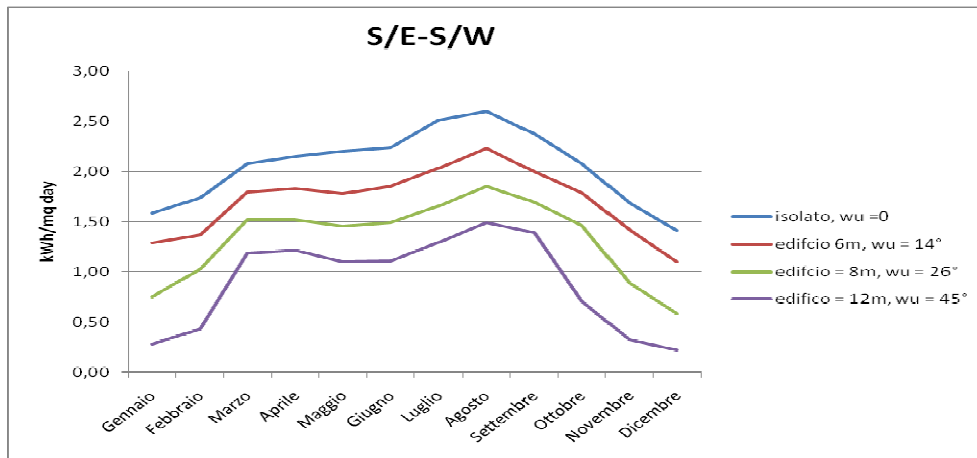
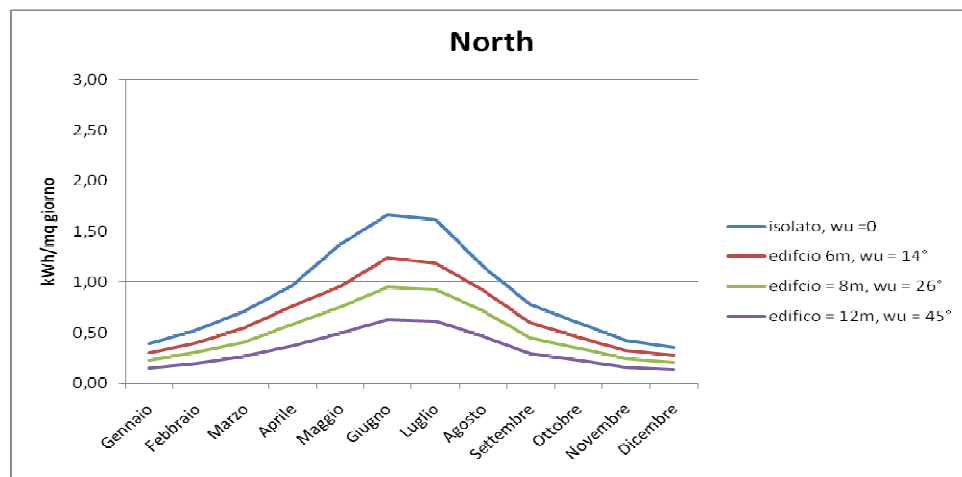
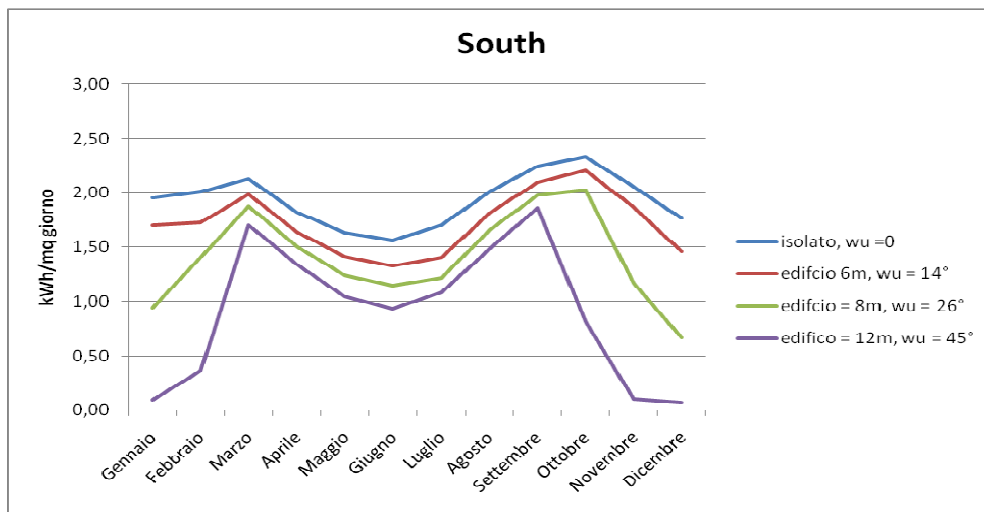
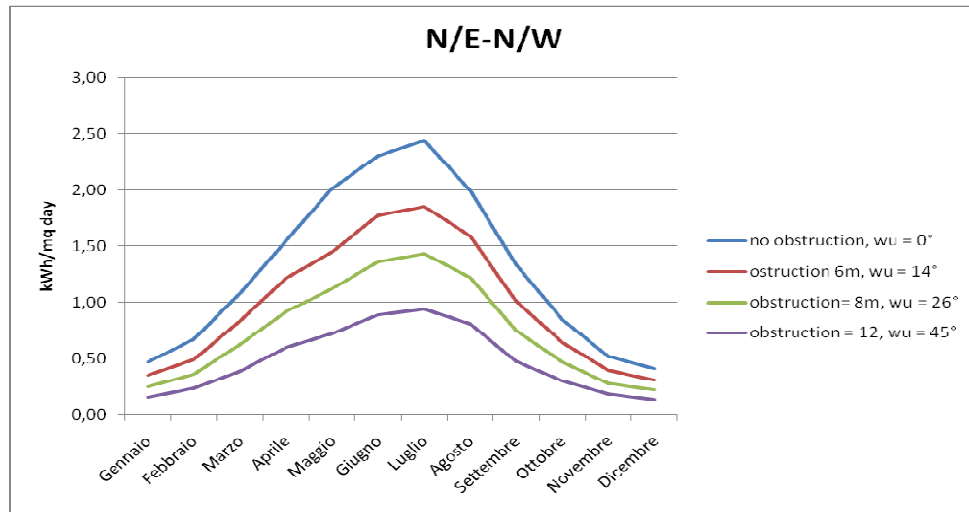



Fig. n°6.49b grafici del irraggiamento unitario medio giornaliero mensile su superfici finestrate con diversi orientamenti e diverso grado di ombreggiamento.

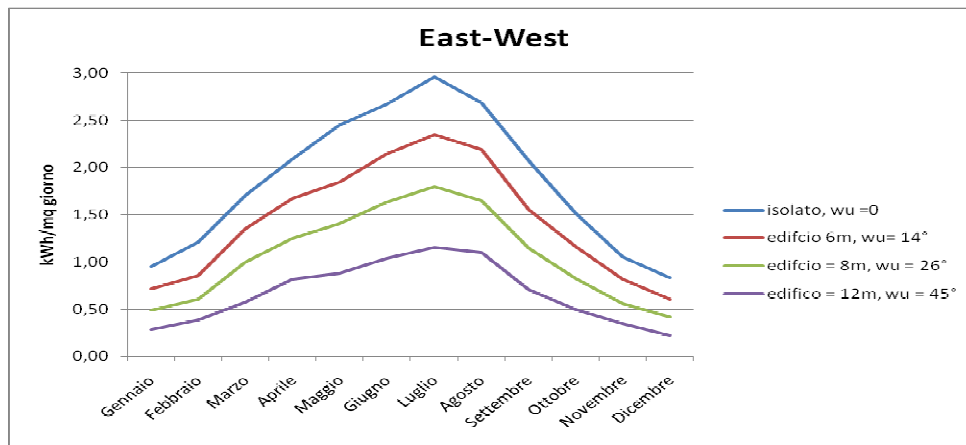



Fig. n°6.49c grafici del irraggiamento unitario medio giornaliero mensile su superfici finestrate con diversi orientamenti e diverso grado di ombreggiamento.

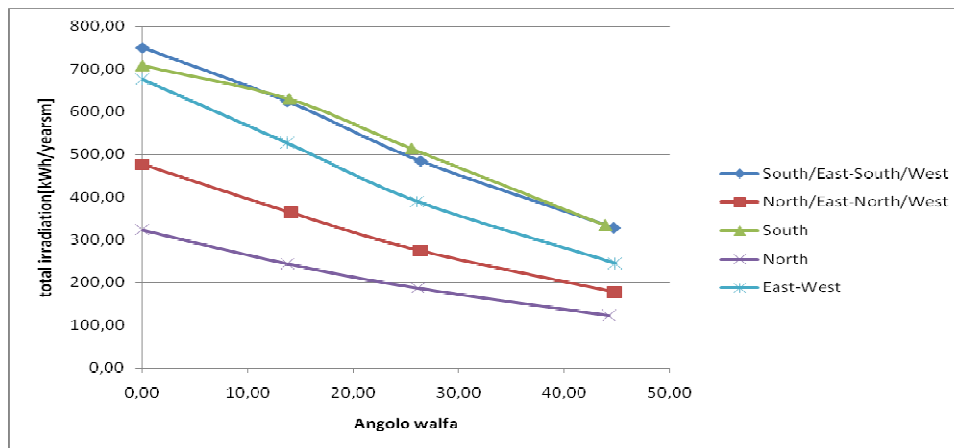



Fig. n°6.50 grafico del irraggiamento unitario medio annuo su superfici finestrate con diversi orientamenti e diverso grado di ombreggiamento.

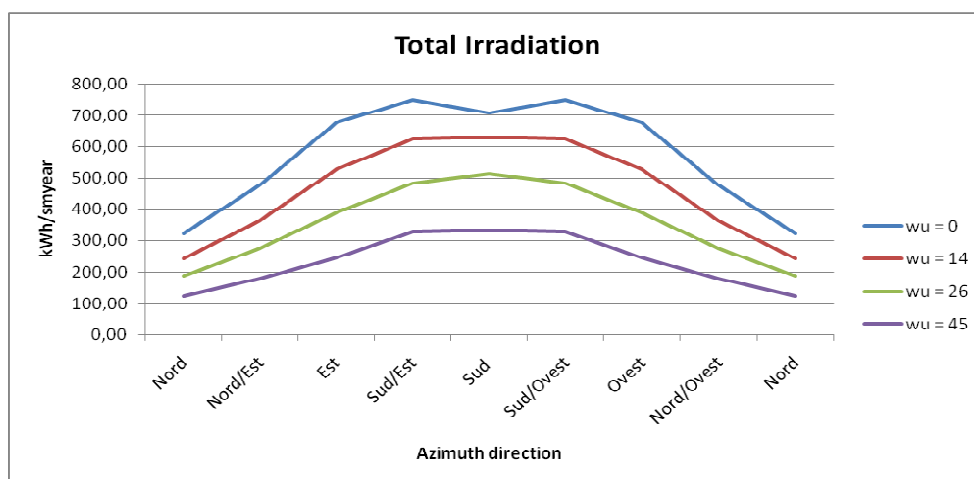



Fig. n°6.51 grafico irraggiamento medio annuo al variare dell'orientamento della facciata con diversi gradi di ombreggiamento per ostruzioni esterne.

Utilizzando le condizioni standard impostate (fig. n°6.48) si sono utilizzati il toolset C3 di RET e DOCET per calcolare il guadagno solare totale dell'edificio nella stagione del riscaldamento[31]; ossia, considerando un edificio con 20% glazing ratio e chiusure verticali in muratura di colore medio (ass_b = 0,6), si è sommato il contributo dovuto all'irraggiamento sulle pareti opache orizzontali (16) e verticali (15) a quello sulle superfici trasparenti (14) e lo si è confrontato con il risultato ottenuto col software semplificato DOCET (tab. n°6.20). Si evince una forte sovrastima (tra il 36 e il 40%) da parte del Tool rispetto al valore proposto da DOCET probabilmente causata dal non inserimento dei parametri relativi alla gestione delle schermature mobili. Effettuando i calcoli tramite un foglio excel si sono confermati i valori calcolati dal Tool e si è riscontrato che inserendo un parametro Gglsh = 0,5 nella (14) si possono ottenere risultati molto prossimi a quelli proposti da DOCET; in ogni caso non conoscendo i settaggi interni del software si è ritenuto corretto effettuare il confronto senza inserirlo. È interessante notare che pur cambiando condizioni di orientamento e di ombreggiatura il rapporto tra la quantità calcolata coi due metodi rimane pressoché costante; ciò dimostra la coerenza delle stime tra loro salvo per la presenza di un fattore costante probabilmente da ricercare nel settaggio dei parametri riferiti alle schermature mobili. Anche se il tool C34 è in grado di utilizzare i parametri *Gglsh* e *fsw,* per l'esempio del caso di studio reale questi non verranno considerati in quanto manchiamo completamente dei dati riguardo il tipo di schermature utilizzate: ossia qualunque ipotesi, non completamente arbitraria, porterebbe alla semplice applicazione di un fattore uniforme di riduzione degli apporti solari che, nel caso ci si adegui alla stima conservativa di DOCET, può essere di circa -38%. Tale dato potrebbe essere inserito in uno studio più approfondito delle tipologie edilizie, o meglio, potrebbe essere una delle informazioni obiettivo di attività partecipative che coinvolgano direttamente i cittadini. Nel caso da noi proposto si considererà che la stima dell'apporto solare è ottimistica, o meglio, considera che l'utente medio sia intelligente e sappia sfruttare al massimo i contributi gratuiti solari durante la stagione invernale. Riguardo alla stagione estiva si farà un discorso a parte in quanto considerare l'uso delle schermature mobili è fondamentale per la definizione corretta del fabbisogno netto per la climatizzazione estiva: non considerarle porterebbe ad un apporto solare molto alto che sovrastimerebbe di gran lunga il fabbisogno estivo.

[31] Per i calcolo si sono utilizzati i dati climatici e la durata prevista per legge della stagione di riscaldamento della città di Cagliari, ossia da novembre al 15 marzo.

Azimuth direction	Obstruction heigth	Tool Calculation Qhsol [kWh/year]	DOCET Calculation Qhsol [kWh/year]	(Tool-DOCET) /DOCET
N,S,E,O	0,00	12706,04	9266,40	0,37
N,S,E,O	6m	10949,23	8035,20	0,36
N,S,E,O	8m	7923,12	5686,20	0,39
N,S,E,O	12m	5445,55	3855,60	0,40
NE,NO,SE,SO	0,00	12382,66	9088,20	0,36
NE,NO,SE,SO	6m	10857,49	7873,20	0,38
NE,NO,SE,SO	8m	7839,57	5621,40	0,39
NE,NO,SE,SO	12m	5384,62	3888,00	0,38

Tab. n°6.20, confronto tra il guadagno solare della stagione invernale calcolato con DOCET e con il Toolset C3 di RET

Esempio n°8

Con un'impostazione simile a quella dell'esempio 1, però limitandosi alle quattro direzioni principali, si è valutata anche l'influenza degli aggetti orizzontali (Fov) sul guadagno solare unitario nelle superfici finestrate (fig. n°6.52). Si sono calcolati i guadagni solari, prima in una situazione priva di schermature e poi in presenza di aggetti orizzontali (angoli Fov di 15°, 25°, 40°, 50°) interpolando i fattori di correzione proposti dalla norma nei prospetti D2 (tab. n°6.21). Dai grafici si evince correttamente che sul lato nord l'influenza dell'ombreggiamento è quasi nulla, nei lati est ed ovest si ha una forte incidenza solo nel periodo estivo mentre nel lato sud si ha una forte influenza in quasi tutte le stagioni. Infatti con l'aumentare dell'angolo Fov il guadagno solare medio annuo delle facciate est ed ovest supera quello della facciata sud (fig. n°6.53).

Angolo	36° N latitudine			38° N latitudine			40° N latitudine			42° N latitudine			44° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,85	0,85	0,80	0,86	0,85	0,80	0,87	0,86	0,80	0,88	0,87	0,80	0,89	0,87	0,80
45°	0,77	0,80	0,72	0,78	0,81	0,72	0,80	0,81	0,72	0,81	0,83	0,72	0,82	0,83	0,72
60°	0,66	0,77	0,65	0,68	0,77	0,65	0,70	0,78	0,65	0,72	0,80	0,65	0,74	0,81	0,65

Tab. n°6.21, esempio di prospetto D2 della UNI 11300. In questo caso è la tabella D2 riferita a gennaio: la tabella fornisce, alle diverse latitudini ed orientamento, il valore del fattore di ombreggiamento per aggetti orizzontali al variare dell'angolo Fov.

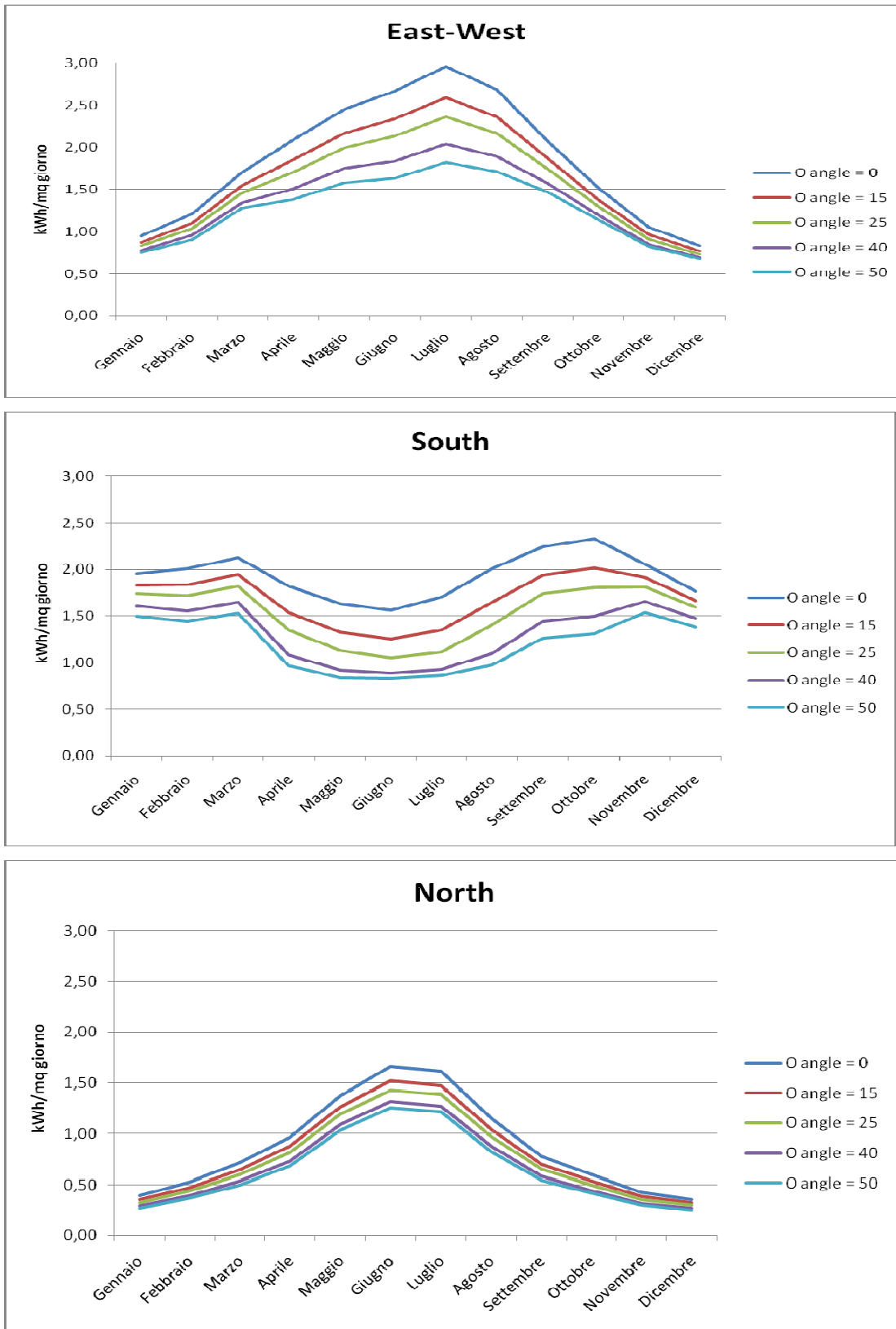



Fig. n°6.52, grafici del irraggiamento unitario medio annuo mensile su superfici finestrate con diversi orientamenti e diverso grado di schermatura da aggetti orizzontali (Fov).

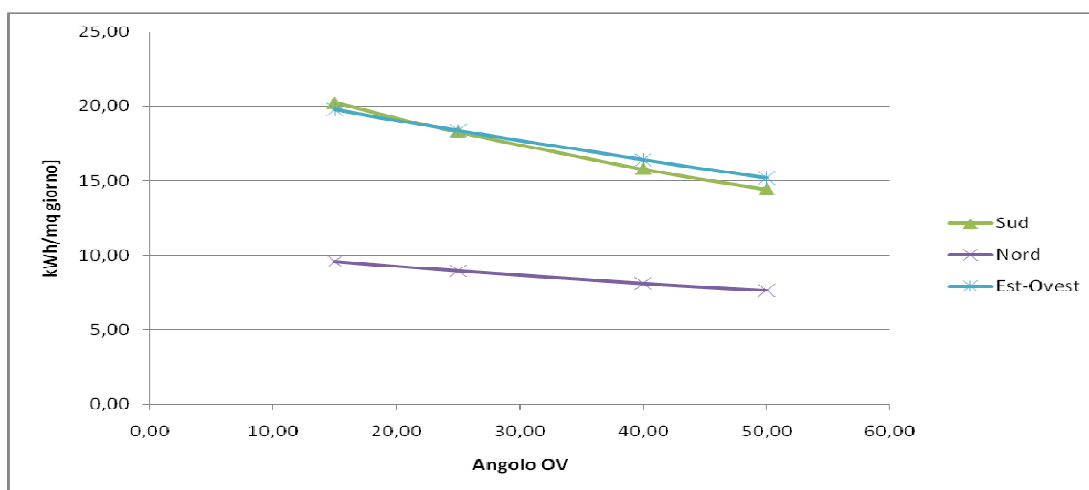



Fig. n°6.53, grafico del irraggiamento unitario medio annuo su superfici finestrate con diversi orientamenti e diverso grado di schermatura da aggetti orizzontali (Fov).

Esempio n°9

Per completezza si è valutata anche la sensitività dei guadagni solari al paramentro che è legato al tipo dei materiali che costituisce l'involucro; partendo sempre dallo stesso edificio dell'esempio 1, si è calcolato il guadagno solare annuo totale, senza ombreggiamento, al variare della trasmittanza media[32] U dell'involucro, evidenziando correttamente una relazione inversamente proporzionale generata dalla (16) e dalla (15). Ciò dimostra che le migliori caratteristiche isolanti della struttura rendono difficile la trasmissione del calore solare all'interno della struttura stessa (fig. n°6.54).

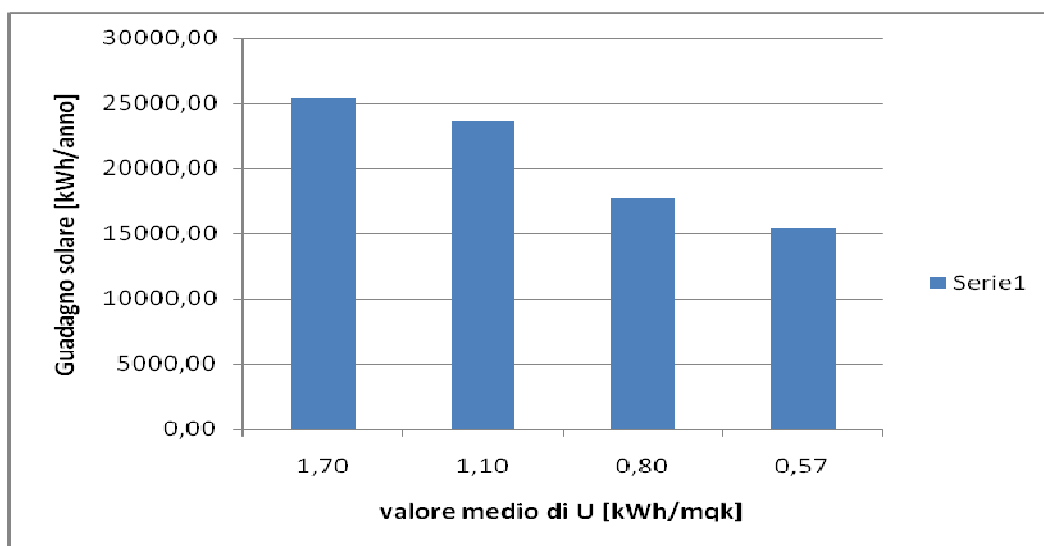



Fig. n°6.54, andamento del guadagno medio annuo al variare del valore di U medio dell'edificio.

[32] Il valore è ricavato calcolando la media pesata sulla superficie tra i valori di U dei componenti edilizi dell'involucro.

6.2.9.9 Calcolo del flusso termico interno (C41)

Nella valutazione standard il flusso termico interno è calcolato con una semplice formula funzione dell'area utile delle unità abitative dell'edificio[33]. Nel nostro caso però non possediamo il dato della superficie utile diviso per le singole unità abitative e perciò ne verrà considerato uno medio per edificio ottenuto dividendo la superficie utile climatizzata per il numero di unità abitative presenti[34]; naturalmente il guadagno termico ottenuto dovrà poi essere moltiplicato per il numero di unità abitative presenti. Anche DOCET utilizza la stessa semplificazione per la redazione della Certificazione Energetica (CE) nella modalità riferita all'intero edificio

$$\Phi int = (5{,}294 * (AvSurf/n°_units) - 0{,}01557 * (AvSurf/n°_units)^{2}) * n°_units \qquad (18)$$

Oppure nel caso (AvSurf/n°_units) > 170 si pone Φint = 450W

Con:

Φint = flusso termico istantaneo dovuto ad apporti interni [W].

AvSurf = area utile delle unità immobiliari, ottenuta precedentemente (A4)

n°_units = numero della unità immobiliari presenti nelle edificio desunto dal data base catastale (A4)

6.2.9.10 Calcolo degli apporti termici interni (C42)

Anche questi apporti vanno calcolati per tutti i mesi dell'anno ma non sono dipendenti dalle condizioni climatiche o da fattori geometrici dell'involucro; ne deriva la formula:

$$Qhint = \Phi int * t \qquad [kWh] \qquad (19)$$

Con:

Qhint = guadagno di calore interni mensili medi nella stagione di riscaldamento

Φint = flusso termico istantaneo dovuto ad apporti interni.

t = $3600*24*GR*2{,}79*10^{-7}$; con GR i giorni di riscaldamento specifici per la zona climatica del comune

Il confronto tra il guadagno interno calcolato col Toolset C4 e quello proposto da DOCET mostrerà una buona congruenza dei risultati generata dall'uso delle medesime formule semplificative; le differenze

[33] La norma propone due tipi di valutazione degli apporti interni di calore: il primo *standard* basato sulla superficie utile delle unità immobiliari (formule del punto 13.1.1 della UNI 11300) e su alcuni dati di flusso termico istantaneo al mq forniti dal prospetto 8 per gli usi non residenziali; il secondo *adattato all'utenza* per il quale la norma fornisce i prospetti 9, 10, 11 e 12 per la valutazione specifica degli apporti interni delle apparecchiature presenti, degli occupanti e quelli globali (punto 13.1.2 della UNI 11300). Nel nostro caso si farà riferimento al quello più semplice utilizzato per la procedura di calcolo standard.

[34] In realtà il valore delle superfici utili è presente nel data base catastale, ma tale dato non ha superato una verifica di congruità con la forma dell'edificio. Si sono sommate le superfici utili delle unità abitative e commerciali nei piani fuori terra e si è verificato se tale somma fosse compatibile con le caratteristiche geometriche dell'immobile preso in esame: tale verifica ha dato sovente esito negativo, quindi nella metodologia sviluppata non si farà uso di questo dato che ci si riserva di implementare in un successivo affinamento del metodo.

saranno strettamente connesse alla diversa metodologia per il calcolo della superficie utile. Anche se in alcuni casi può esserci una differenza non trascurabile in senso assoluto, gli errori sono generalmente trascurabili in quanto il peso degli apporti termici interni è molto limitato nel calcolo standard del fabbisogno netto per riscaldamento.

Nelle ipotesi alla base del calcolo si è affermato che ci si sarebbe limitati ai volumi dedicati alla residenza, ma utilizzando il prospetto 8 (tab. n°6) si potrà facilmente implementare la metodologia anche per gli usi non residenziali.

Categoria di edificio	Destinazione d'uso	Apporti medi globali
		W/m^2
E.1 (3)	Edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari	6
E.2	Edifici adibiti a uffici e assimilabili	6
E.3	Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili	8
E.4 (1)	Cinema e teatri, sale di riunione per congressi	8
E.4 (2)	Mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto	8
E.4 (3)	Bar, ristoranti, sale da ballo	10
E.5	Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili	8
E.6 (1)	Piscine, saune e assimilabili	10
E.6 (2)	Palestre e assimilabili	5
E.6 (3)	Servizi di supporto alle attività sportive	4
E.7	Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili	4
E.8	Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili	6

Tab. n°6.22 prospetto 8 della UNI 11300, recante gli apporti medi istantanei per superficie utile

6.2.9.11 Determinazione del fattore di utilizzazione degli apporti termici (C51)

Il fattore di utilizzazione è un parametro dinamico che diminuisce il peso degli apporti termici nel calcolo del fabbisogno netto invernale. Il calcolo sarà effettuato per ogni mese in base alle specifiche della norma UNI 11300-1 e della UNI ISO EN 13790: 2008, e utilizzando le procedure semplificate del calcolo standard.

Se $g_h > 0$ e non $g_h = 1$

$$Futh = (1- g_h\text{^}a_h)/(1- g_h\text{^}(a_h+1)) \qquad (20)$$

Se $g_h = 1$

$$Futh = a_h/(a_h+1) \qquad (21)$$

Dove:

Futh = fattore di utilizzazione degli apporti termici

g_h = (Qhint+ Qhsol)/(Qhve+ Qht) rapporto tra gli apporti termici mensili e le dispersioni, tale parametro varia ogni mese, ma si possiedono già tutti i dati per il suo calcolo.

$$a_h = a_{h0} + \ / \ _{h0} \qquad (22)$$

con:

a_{h0} = 1, per il calcolo mensile

$_{h0}$ = 15 [h]

Dove:

$$= Cm*1000 / (Htr*3600+Hve) \qquad [h] \qquad (23)$$

Con:

= costante di tempo termica [h], valore caratteristico dell'edificio utilizzato sia per il calcolo in regime invernale che estivo

Hve= coefficiente globale di scambio termico per ventilazione [J/hK]

Htr = coefficiente globale di scambio termico per trasmissione [W/K]

Cm = capacità termica interna nella zona termica [kJ/K], valore caratteristico dell'edificio costante nei mesi, utile sia per il calcolo in regime invernale che estivo

I coefficienti di scambio termico sono quantità già note; l'unico termine che il tool deve calcolare è la capacità termica per la quale si utilizzerà l'approccio semplificato proposto dal prospetto 16 (punto 15.2 UNI 11300-1), in cui viene fornito un valore di capacità termica superficiale unitaria media in funzione delle caratteristiche costruttive dell'edificio. Tale valore dovrà poi essere moltiplicato per le superfici interne dell'edificio, ossia: per la superficie interna delle murature perimetrali e per le superfici dei pavimenti e dei soffitti. Il dato unitario di Cmu viene inserito tra gli attributi dell'archetipo mentre, per semplificare, si sono utilizzate le superfici esterne dell'involucro e quella della superficie utile in luogo delle superfici interne.

$$Cm = Cmu *(Pp*building\ h + AvSurf *n°_floor*2) \qquad [kJ/K] \qquad (24)$$

Con

Cmu = valore unitario della capacità termica [kJ/(m2*K)], inserito nella definizione dell'archetipo

Pp = perimetro del poligono rappresentate l'edificio

AvSurf = area utile delle unità immobiliari, ottenuta precedentemente (A4)

n°_floor = numero di piani inserito dall'utente (A3)

building_h = altezza dell'edificio calcolata precedentemente (A4)

Nonostante l'unico valore incognito sia il Cm calcolato per l'edificio, si vedrà come il valore di calcolato col tool differisca notevolmente da quello proposto da DOCET, non conoscendo le impostazioni del software si proporrà un'analisi della sensitività del fabbisogno netto rispetto ai possibili valori del parametro Cmu.

6.2.9.12 Calcolo del fabbisogno netto per riscaldamento (C52)

Il tool calcolerà il fabbisogno netto per riscaldamento per ogni mese invernale secondo la formula della norma (punto 5.1 UNI 11300) e ne restituirà anche un valore annuo mediato sulla superficie utile dell'edificio.

$$Needh = (Qhve+ Qht) - Futh *(Qhint+ Qhsol) \qquad [kWh] \qquad (25)$$

Con:

Qhint = guadagno di calore interni mensili medi nella stagione di riscaldamento
Qhsol = guadagno di calore mensile medio per irraggiamento solare nella stagione di riscaldamento
Qhve = perdita di calore per scambio termico per ventilazione nella stagione di riscaldamento
Qht = perdita di calore per scambio termico attraverso l'involucro, nella stagione di riscaldamento
Futh = fattore di utilizzazione degli apporti termici

6.2.9.13 Esempio di calcolo del fabbisogno netto per climatizzazione invernale

Esempio n°10

Per verificare la capacità dei toolset di calcolare correttamente il fabbisogno netto per il riscaldamento si sono confrontati i risultati con quelli ottenuti col software semplificato su un edificio ideale impostato in modo da rendere simili le condizioni di calcolo delle due metodologie. Partendo quindi da un edificio di semplice geometria, orientato secondo le direzioni azimutali principali, si sono fatte variare le condizioni al contorno al fine di verificarne la sensitività. Utilizzando la configurazione dell'esempio n°7 (fig. n°6.48) ed alcuni altri casi ideali, si confronteranno i risultati delle due metodologie in termini di dispersioni e guadagni termici, fattore di utilizzazione e superficie utile.

Le condizioni standard relative alle ostruzioni esterne sono state discusse precedentemente (esempio 7), e sono: distanza delle ostruzioni esterne pari a 10m; assenza di ombreggiatura per elementi aggettanti dello stesso edificio; orientamento azimutale delle facciate coincidente con quelle impostabili nel software

DOCET e presenza di una sola ostruzione per ogni direzione; non considerazione dei parametri relativi all'uso delle schermature mobili.
Basandosi su queste impostazioni, ed aggiungendo le altre ipotesi di una semplice struttura in muratura portante (tab. n°6.23 n°6.24) e della mancanza di vano scala, si è calcolato con entrambe le metodologie il fabbisogno netto al variare delle caratteristiche di ombreggiamento e di orientamento dell'edificio (fig n°6.48). Osservando i risultati del confronto (tab. n°6.25), si nota immediatamente che il guadagno solare è il fattore che si discosta maggiormente da quello di DOCET, probabilmente per la mancanza dei parametri relativi alle schermature mobili. Come già ricordato DOCET effettua delle proprie ipotesi rispetto alla dimensione del vano scala che attualmente possiamo solo dedurre dai risultati: per limitare i gradi di incertezza del confronto se ne è ipotizzata una struttura priva. Grazie a ciò, utilizzando le medesime formule, si è ottenuta la stessa superficie utile con entrambe le metodologie e, poiché i valori delle dispersioni per ventilazione e dei guadagni interni dipendono dalla superficie utile e dal volume netto riscaldato, si sono ottenuti risultati molto simili. La presenza del vano scala, soprattutto negli edifici con dimensioni planimetriche limitate, può generare forti differenze nella stima della superficie utile e del volume riscaldato; inoltre la precisione di questi parametri è fondamentale anche per la determinazione delle "*classi*" della Certificazione Energetica che, soprattutto per le classi migliori, ha limiti piuttosto stretti per i quali una differenza di pochi metri quadri può far ricadere l'edificio in classi penalizzanti o troppo generose. Probabilmente uno studio tipologico più approfondito che leghi il tipo di vano scala all'archetipo potrebbe essere un modo per migliorare la rappresentatività del toolset; tuttavia non essendo note le ipotesi assunte dallo strumento DOCET il confronto con esso sarà sempre limitato.
Osservando il fattore delle perdite per trasmissione del calore attraverso l'involucro, si può notare come il valore calcolato da DOCET sia sempre lo stesso, mentre quello calcolato dal RET vari con l'aumentare dell'altezza degli edifici antistanti, passando da una lieve sottostima del -2% ad una più consistente del -7%. Tale variazione è l'effetto del contributo dell'*Extraflusso* che dipende dalla porzione di cielo visibile dall'edificio: ossia maggiore è la parte di volta celeste che è direttamente visibile dalle facciate dell'edificio e maggiore sarà la dispersione termica per onde lunghe infrarosse. Da ciò deriva che gli edifici maggiormente ombreggiati hanno valori di dispersione termica inferiori di quelli completamente isolati; tale fattore, pur non avendo un peso assoluto completamente trascurabile poiché può raggiungere il 5-8% delle perdite dall'involucro, non sembra essere preso in considerazione nella metodologia DOCET che, con un effetto cautelativo, assegna sempre lo stesso valore di dispersione per trasmissione per tutti i livelli di ombreggiatura. Il contributo dell'extraflusso aggiunge un altro fattore di incertezza nel confronto tra RET e DOCET che sommato agli altri aspetti non rende facilmente comparabili i due strumenti in quanto le impostazioni di calcolo di quest'ultimo non sono facilmente riconoscibili.
Un altro fattore, che mostra una forte differenza tra i due strumenti, è la costante tempo termica per la quale RET effettua una sovrastima di oltre il 30%. Tale parametro è calcolato in funzione dei parametri

istantanei delle perdite di calore, della capacità termica superficiale e delle caratteristiche geometriche dell'edificio (23,24). Il valore perciò al variare dell'orientamento e dei fattori di ombreggiamento rimane correttamente costante nelle due metodologie[35], ma presenta notevoli differenze in valore assoluto. Anche in questo caso, non conoscendo i calcoli presenti in DOCET, possiamo solo supporre che la ragione di tale differenza risieda nel modo in cui è valutata la capacità termica superficiale: RET adotta il prospetto 16 della norma moltiplicando il valore di Cm per le superfici che delimitano il volume riscaldato (pareti perimetrali, chiusura orizzontale di base e di copertura, solai interni contati due volte). Per valutare l'influenza di tale parametro nel calcolo del fabbisogno lo si è fatto variare ponendo tutto il range dei valori possibili presenti nel prospetto 16, ottenendo una variazione massima del 7% (tab n°6.26) tra l'aver considerato una struttura leggera (isolamento interno, intonaco di gesso e pavimento tessile) ed una pesante (isolamento esterno o assente, intonaco cementizio e pavimento in piastrelle). Nel nostro caso si è inserito il valore massimo relativo alle strutture in muratura pesanti, prive di isolamento con pavimentazione ceramica; il valore della costante di tempo proposta da DOCET sembrerebbe ancora una volta favorire la sovrastima del fabbisogno (fig. n°6.55).

Nonostante alcuni elementi di incertezza, comparando gli andamenti dei fabbisogni netti si può notare come le differenze siano inquadrabili in una sottostima di RET rispetto a DOCET di circa il 15-20% (fig. n°6.56), il risultato è coerente con la stima cautelativa del software ufficiale che generalmente sovrastima del 20% il fabbisogno rispetto ad un calcolo rigoroso effettuato secondo UNI 11300 e di oltre il 35% rispetto ad un dettagliato software dinamico (BAGGIO 2008). Comunque, possiamo dedurre che i risultati di RET sono coerenti con gli andamenti mostrati da DOCET e che verosimilmente la differenza dei fabbisogni netti è da imputare principalmente al diverso calcolo del guadagno termico solare.

Caratteristiche geometriche		**Caratteristiche geometriche**	
Glaze ratio	14 [%]	Superficie lorda piano tipo	100
Interpiano lordo	4 [m]	N° unita immobiliari	4
Lato nord/sud	10 [m]	N° piani	2
Lato Est/Ovest	10 [m]	Colore muratura	0,6 (chiaro)
Perimetro del vano scala verso l'area riscaldata	0 [m]		

tab. n°6.23, parametri tipologici dell'esempio ideale

Elemento costruttivo	**U**
Chiusure verticali opache, muratura portante lapidea intonacata, 0,6m spessore	1,61
Solaio di base latero-cementizio contro terra, massetto e pavimentazione ceramica	1,65
Copertura orizzontale con solaio latero-cementizio, massetto e pavimentazione ceramica	1,5
Chiusure verticali trasparenti, finestre con telaio in legno, vetro singolo, cassonetti e tapparella in PVC	4,9
Parete verso il vano scala	//

tab. n°6.24, strutture edilizie dell'esempio ideale

[35] La capacità termica superficiale incide direttamente sul valore del coefficiente di utilizzazione degli apporti gratuiti: più l'edificio è pesante migliore è il comportamento dinamico dello stesso (Vincenzo Corrado, 2009)

AZ direction = N-E-S-W	**DOCET**	**Tool**	**(RET-DOCET) /DOCET**	**DOCET**	**Tool**	**(RET-DOCET) /DOCET**
Obstruction heigth	**no obstruction**			**6m**		
Shell heat loss [kWh]	33825,6	33037,2	-0,023	33825,6	32697,5	-0,033
Ventilation heat loss [kWh]	1328,4	1334,6	0,005	1328,4	1334,6	0,005
Internal heat gain [kWh]	2478,6	2459,5	-0,008	2478,6	2459,5	-0,008
Solar heat gain [kWh]	9266,4	12706,04	0,371	8035,2	10949,23	0,363
time costant [h]	20,20	27,0	0,337	20,20	27,0	0,337
Heating need [kWh]	24138	19431,7	-0,195	25174,8	20586,7	-0,182
Avalilable surface [sm]	162	169,9	0,049	162	169,9	0,049
AZ direction = N-E-S-W	**DOCET**	**Tool**	**(RET-DOCET) /DOCET**	**DOCET**	**Tool**	**(RET-DOCET) /DOCET**
Obstruction heigth	**9m**			**12m**		
Shell heat loss [kWh]	33825,6	32221,9	-0,047	33825,6	31440,6	-0,071
Ventilation heat loss [kWh]	1328,4	1334,6	0,005	1328,4	1334,6	0,005
Internal heat gain [kWh]	2478,6	2459,5	-0,008	2478,6	2459,5	-0,008
Solar heat gain [kWh]	5686,2	7923,1	0,393	3855,6	5405,55	0,402
time costant [h]	20,20	27,0	0,337	20,20	27,0	0,337
Heating need [kWh]	27264,6	23151,2	-0,151	28949,4	24510,4	-0,153
Avalilable surface [sm]	162	169,9	0,049	162	169,9	0,049

AZ direction = NE-NW-SW-SE	**DOCET**	**Tool**	**(RET-DOCET) /DOCET**	**DOCET**	**Tool**	**(RET-DOCET) /DOCET**
Obstruction heigth	**no obstruction**			**6m**		
Shell heat loss [kWh]	33825,6	32692,4	-0,034	33825,6	32221,9	-0,047
Ventilation heat loss [kWh]	1328,4	1334,6	0,005	1328,4	1334,6	0,005
Internal heat gain [kWh]	2478,6	2459,5	-0,008	2478,6	2459,5	-0,008
Solar heat gain [kWh]	9729,72	13299,3	0,367	7794,144	10425,8	0,338
time costant [h]	20,20	27,0	0,337	20,20	27,0	0,337
Heating need [kWh]	23655,24	19701,7	-0,167	25426,55	20863,6	-0,179
Avalilable surface [sm]	162	161,7	-0,002	162	161,7	-0,002
AZ direction = NE-NW-SW-SE	**DOCET**	**Tool**	**(RET-DOCET) /DOCET**	**DOCET**	**Tool**	**(RET-DOCET) /DOCET**
Obstruction heigth	**9m**			**12m**		
Shell heat loss [kWh]	33825,6	31832,9	-0,059	33825,6	31444,0	-0,070
Ventilation heat loss [kWh]	1328,4	1334,6	0,005	1328,4	1334,6	0,005
Internal heat gain [kWh]	2478,6	2459,5	-0,008	2478,6	2459,5	-0,008
Solar heat gain [kWh]	5515,614	7817,9	0,417	3739,932	5311,6	0,420
time costant [h]	20,20	27,0	0,337	20,20	27,0	0,337
Heating need [kWh]	27537,25	22575,7	-0,180	29238,89	24469,6	-0,163
Avalilable surface [sm]	162	161,7	-0,002	162	161,7	-0,002

Tab. n°6.25 risultato del confronto tra i risulti di DOCET e quelli di RET sulla base delle strutture ideali della fig. n°6.48. I calcoli sono svolti in regime invernale, il confronto è stato svolto comparando le perdite, i guadagni termici ed il conseguente fabbisogno netto in [kWh].

	Capacità termica superficiale [kJ/(mq k)]	costante tempo [h]	fabbisogno netto riscaldamento [kWh/mq]
strutture pesanti	165,00	27,03	114,40
	145,00	23,75	115,68
	125,00	20,48	117,19
	105,00	17,20	119,01
strutture leggere	75,00	12,29	122,47
max variazione			0,07

Tab n°6.26, influenza della capacità termica superficiale nel calcolo del fabbisogno netto

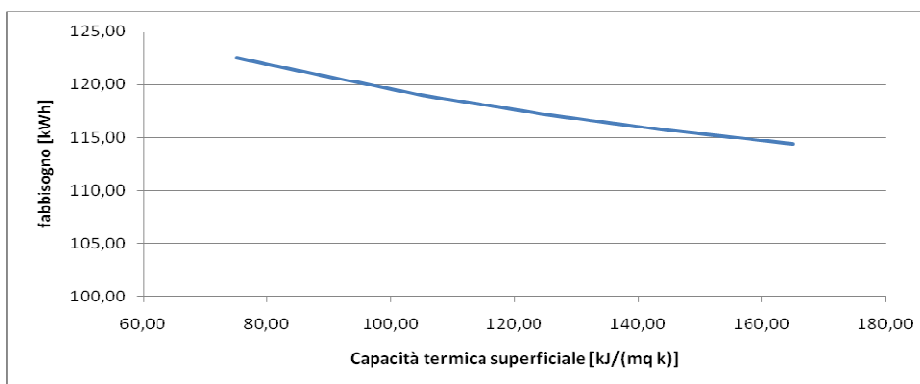



Fig. n°6.55, influenza della capacità termica superficiale sul fabbisogno netto

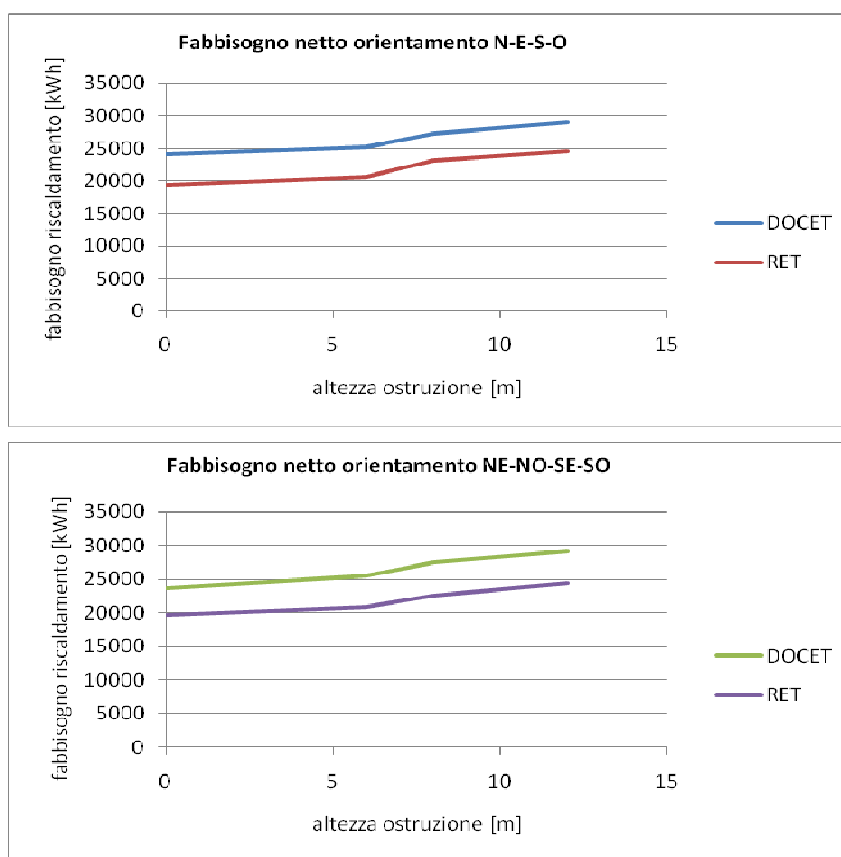



Fig. n°6.56, andamento del fabbisogno netto calcolato con le due metodologie in funzione dell'altezza delle ostruzioni e per due differenti orientamenti

Esempio 11

In questo esempio si utilizzerà un edificio ideale di caratteristiche leggermente diverse dal precedente (tab. n°6.27 n°6.28); in particolare si inserirà un vano scala[36] e edifici in adiacenza (fig.n°6.57) al fine di valutarne l'influenza nel calcolo. L'esempio esplicita l'influenza delle superfici disperdenti nei calcoli delle due differenti metodologie e mostra come la presenza di un vano scala aumenti le differenze nel calcolo delle dispersioni per ventilazione, dei guadagni termici interni e anche nelle perdite per trasmissione. Tale differenza diventa ancora più importante se si confrontano i valori per unità di superficie, dove la minore superficie calcolata da DOCET penalizzerebbe l'edificio in un'ipotetica classificazione energetica. In ogni caso RET si dimostra capace di valutare le differenti configurazioni delle superfici disperdenti in maniera coerente: le dispersioni per trasmissione così come gli apporti solari decrescono col diminuire della superficie disperdente mantenendo più o meno le stesse proporzioni nelle due metodologie.

Caratteristiche geometriche		**Caratteristiche geometriche**	
Glaze ratio	021 [%]	Superficie lorda piano tipo	237,7
Interpiano lordo	3,15 [m]	N° unita immobiliari	8
Lato nord/sud	17,5 [m]	N° piani	4
Lato Est/Ovest	13,6 [m]	Colore muratura	0,3 (chiaro)
Perimetro del vano scala verso l'area riscaldata	14 [m]		

tab. n°6.27, parametri tipologici dell'esempio ideale

Elemento costruttivo	**U**
Chiusure verticali opache, in struttura portante in CA con muratura a cassa vuota	1,15
Solaio di base latero-cementizio contro terra, massetto e pavimentazione ceramica	1,65
Copertura orizzontale con solaio latero-cementizio, massetto e pavimentazione ceramica	1,5
Chiusure verticali trasparenti, finestre con telaio in legno, vetro singolo, cassonetti e tapparella in PVC	4,9
Parete verso il vano scala, muratura in laterizio forato intonacato su due lati	1,3

tab. n°6.28, strutture edilizie dell'esempio ideale

Fig.n°6.57 configurazione degli edifici

[36] In una schermata di riassunto dei dati di calcolo DOCET riporta l'area del vano scala tipo ipotizzato per il calcolo in modalità "certificazione dell'edificio", ma non permette di valutarne il perimetro a contatto con la zona riscaldata. Nel nostro caso si è adottata una superficie di di 5x4m =20mq per piano, e si è ipotizzato che due lati lunghi ed una corto fossero a contatto con la zona termica.

	edificio isolato					due edifici in adiacenza bassi				
	DOCET	RET	DOCET	RET	(RET-DOCET)/DOCET	DOCET	RET	DOCET	RET	(RET-DOCET)/DOCET
	kWh/mq anno		kWh/anno			kWh/mq anno		kWh/anno		
Dispersioni per Trasmissione	99,6	96,65	73721,93	74008,82	0,00	78,3	71,52	57956,09	54763,30	-0,06
Dispersioni per Ventilazione	7,1	6,82	5255,28	5225,45	-0,01	7,1	6,82	5255,28	5225,45	-0,01
Apporti interni	12,7	12,40	9400,29	9497,09	0,01	12,7	12,40	9400,29	9497,09	0,01
Apporti solari	28,5	36,65	21095,13	28063,77	0,33	14,4	18,90	10658,59	14472,11	0,36
Fabbisogno netto	68,3	55,67	50554,29	42628,55	-0,16	58,9	47,43	43596,60	36318,10	-0,17
Costante di tempo [h]	23,4	34,79			-0,49	29,2	44,23			-0,51
Supeficie utile [mq]	740,18	765,72				740,18	765,72			

	due edifici in adiacenza alti					tre edifici in adiacenza alti				
	DOCET	RET	DOCET	RET	(RET-DOCET)/DOCET	DOCET	RET	DOCET	RET	(DOCET-RET)/DOCET
	kWh/mq anno		kWh/anno			kWh/mq anno		kWh/anno		
Dispersioni per Trasmissione	68,8	64,07	50924,38	49061,85	-0,04	52,4	47,00	38785,43	35989,34	0,07
Dispersioni per Ventilazione	7,1	6,82	5255,28	5225,45	-0,01	7,1	6,82	5255,28	5225,45	0,01
Apporti interni	12,7	12,40	9400,29	9497,09	0,01	12,7	12,40	9400,29	9497,09	-0,01
Apporti solari	14,2	18,40	10510,56	14089,25	0,34	14,1	17,58	10436,54	13463,08	-0,29
Fabbisogno netto	56,9	46,29	42116,24	35447,27	-0,16	33,7	28,27	24944,07	21649,18	0,13
Costante di tempo [h]	32,8	49,23			-0,50	42,9	65,29			-0,52
Supeficie utile [mq]	740,18	765,72				740,18	765,72			

Tab. n°6.29, confronto tra DOCET e RET con gli edifici ideali della fig. n°6.57

6.2.9.14 Conclusioni: validazione e correttezza del toolset C

Per lasciare spazio allo sviluppo completo della metodologia, la validazione rigorosa dei toolset C necessiterà di essere completata in un successivo momento; comunque, dai confronti effettuati in questa sede (Esempi 7,8,9,10,11), si può già dedurre la correttezza della stima di alcuni fattori ed individuare le criticità che limitano il calcolo degli altri. Di seguito riassumeremo brevemente quanto già detto nei paragrafi precedenti ed inquadreremo alcuni punti critici sui quali è necessario approfondire la ricerca.

Le dimensioni geometriche del vano scala

La superficie utile e il volume netto riscaldato sono alcuni dei fattori più importati di tutta la procedura di calcolo: da essi dipendono direttamente i guadagni termici per apporti interni (18,19) e le perdite di calore per ventilazione (12,13). Essi sono anche i parametri fondamentali per il calcolo della classe energetica dell'edificio. Il toolset è in grado di calcolarli sia con le formule semplificate proposte dalla norma che utilizzando le grandezze geometriche delle strutture edilizie (perimetri, spessori delle pareti). Il primo tipo di calcolo è immediatamente eseguibile partendo dalle dimensioni lorde dell'edifico, ma naturalmente le stime saranno piuttosto arbitrarie; al contrario il secondo metodo è in grado di definire con buona precisione le superfici utili e i volumi riscaldati a patto che si conoscano i dati riguardo al vano scala. Possedere dati precisi riguardo al vano scala non garantisce solo una stima accurata delle perdite per ventilazione e dei guadagni interni (Esempio 10, 11) ma aumenta la precisione del fattore relativo alle perdite per trasmissione (11) in quanto permette di tenere conto dello scambio termico verso gli ambienti non riscaldati (6,7) che, altrimenti, non potrebbero essere considerati. Secondo la norma il vano scala influisce anche nella determinazione degli apporti solari in quanto le sue superfici esterne prendono parte in maniera differente alla determinazione del guadagno solare; al contrario nella metodologia da noi proposta poiché, salvo un dettagliato studio tipologico sul campo, non possiamo ipotizzare la posizione del vano scala all'interno del volume, si è deciso di tralasciarne l'influenza su questo fattore. Perciò nell'approntamento dello studio tipologico per la definizione degli archetipi uno dei fattori critici su cui focalizzare l'attenzione sarà la definizione delle grandezze relative ai vani scala (perimetro a contatto col volume riscaldato, superficie, lunghezza ed orientamento della superficie esterna, numero di vani scala, tipo di vano scala per l'uso del prospetto 5 della norma) o in alternativa, in un'ottica di semplificazione dei calcoli e dei dati di input, eliminarne completamente l'influenza.

Il tipo delle schermature mobili

Come abbiamo già avuto modo di discutere ampiamente, la determinazione del tipo di schermature mobili presenti, e quindi l'adozione del parametro proposto dalla norma per considerarne l'uso, influisce fortemente sulla stima degli apporti solari (Esempi 10, 9) e di conseguenza sul risultato del calcolo del fabbisogno netto. Se nel calcolo in regime invernale, dove il peso del guadagno solare è abbastanza

contenuto, si può tralasciare l'influenza della schermatura mobile ipotizzando l'utente intelligente che cerchi di massimizzare l'apporto gratuito, in regime estivo questo non è possibile perché porterebbe a una forte sovrastima del fabbisogno. Perciò anche lo studio delle schermature mobili dovrà essere in qualche modo inserito nell'approntamento degli archetipi, al fine di poter calcolare anche l'apporto solare in maniera coerente con la norma.

Le impostazioni del software di confronto

Negli esempi svolti, uno dei limiti incontrati risiede proprio nelle impostazioni del software scelto come metodologia di controllo. Impostando in maniera corretta i casi ideali si è riusciti ad assimilare le condizioni del contesto prese in considerazione da RET a quelle più semplificate di DOCET e, grazie agli input semplificati del software ed alla sua semplicità, si sono potuti eseguire i calcoli senza eccessivo dispendio di tempo. Sfortunatamente nel manuale d'uso del software non sono esplicitate tutte le impostazioni dei parametri utilizzati per il calcolo; i punti che necessiterebbero di un approfondimento sono i seguenti:

Geometria del Vano scala: nella Certificazione Energetica in modalità per edificio, DOCET ipotizza le dimensioni del vano scala, ma ne richiede l'orientamento ed il tipo tra i dati di input. Anche se è possibile ricavarne la superficie dal prospetto riepilogativo dei parametri di calcolo del fabbisogno netto per riscaldamento, non sono conoscibili i parametri riguardo le superfici disperdenti. Inoltre, per rendere più veloci le operazioni di confronto sarebbe opportuno conoscere la logica in base alla quale ne vengono ipotizzati i parametri geometrici.

Le strutture edilizie: per il confronto sono state utilizzate strutture edilizie presenti tra quelle predefinite di DOCET, impostandone gli stessi parametri fisici e geometrici anche in RET. Nel caso però si inseriscano in DOCET strutture personalizzate è necessario sapere in che modo venga valutata l'influenza dei ponti termici al fine di tenerne conto in egual modo in RET.

Il valore della capacità termica superficiale (Cm): come mostrato negli esempi svolti (Esempio 9,10,11) il toolset sembra sovrastimare il valore della costante tempo proposto da DOCET. La costante tempo è un parametro dinamico del calcolo definito in funzione dei valori istantanei della perdita di calore e della capacità termica dell'edificio: edifici con superfici interne pesanti accumulano meglio il calore restituendolo quando è necessario. Tale parametro influisce sul calcolo del fabbisogno netto attraverso i coefficienti di utilizzazione, e, sebbene il suo peso sia limitato (2-5%), conoscere l'esatto calcolo svolto nel software di controllo faciliterebbe i confronti tra le due metodologie limitandone le differenze nei risultati.

Il tipo di schermatura mobile: il manuale di DOCET non specifica come venga utilizzata la formula relativa alla gestione delle schermature mobili (24) della UNI 11300, ossia non sappiamo quale sia il tipo di schermatura mobile inserita arbitrariamente dal software. Se tale assunzione potrebbe essere accettabile per il calcolo invernale, nella stagione estiva sarebbe utile poter esplicitare le differenze riguardo al tipo di schermatura perché il peso del fattore guadagno solare è largamente preponderante nel calcolo del

fabbisogno netto per raffrescamento. Negli esempi, e nel seguente caso di studio, si è tralasciato il fattore riferito alle schermature mobili ma il tool è già capace di tenerne conto in maniera specifica per ogni edificio qualora venissero impostati i valori di trasmittanza di energia solare dell'infisso con la schermatura chiusa (Gglsh).

Extraflusso: studiando i risultati degli esempi ideali sembrerebbe che DOCET non tenga in considerazione l'influenza dell'extraflusso (8,9,19) perché al variare delle condizioni di ombreggiamento il software mostra sempre gli stessi risultati di perdite attraverso l'involucro (Esempi 11,10,9). Il peso dell'extraflusso sul fattore delle perdite attraverso l'involucro può arrivare in casi molto ombreggiati a circa il -7% rispetto al valore in caso di edificio isolato; ossia un edificio molto ombreggiato ha perdite per trasmissione per onde lunghe minori perché vede una porzione ridotta della volta celeste. Negli edifici con alti valori di trasmittanza le perdite attraverso l'involucro sono largamente preponderanti in periodo invernale e, in valore assoluto l'incidenza dell'extraflusso sul fabbisogno netto può diventare tutt'altro che trascurabile (10). La semplificazione utilizzata da DOCET introduce perciò un forte elemento di difformità rispetto al calcolo rigoroso impostato nel RET; anche in questo caso conoscere l'esatto calcolo svolto del software ufficiale permetterebbe di impostare il confronto delle due metodologie su informazioni certe e non su ipotesi ricavate dall'osservazione dei risultati.

Possiamo quindi affermare che, anche se RET necessita di alcune implementazioni riguardo i dati di input e di una validazione più approfondita dei suoi risultati, potenzialmente esso segue le prescrizioni della norma UNI 13000 meglio di DOCET: questo perché è in grado di calcolare l'extraflusso trascurato in DOCET e perché può ottenere il guadagno solare valutando configurazioni del contesto più complesse rispetto a quelle standard utilizzate da DOCET (Esempio 8,9).

6.2.10 Determinazione del fabbisogno netto dell'involucro per raffrescamento (D)

Il toolset per la determinazione del fabbisogno netto per il raffrescamento non verrà completato in questo lavoro di tesi. Per quanto questa mancanza infici notevolmente la completezza dello strumento RET perché il regime estivo, soprattutto nei nostri climi mediterranei, può costituire circa la metà del fabbisogno annuale per la climatizzazione, si è preferito dare precedenza allo sviluppo della metodologia nella sua interezza ossia arrivando alla definizione e alla valutazione di alcune ipotesi di scenario al fine di mostrare le potenzialità dell'approccio proposto. Inoltre la normativa italiana, riferita alle prestazioni energetiche degli edifici attualmente in vigore[37], non richiede la verifica in regime di climatizzazione estiva, né in sede di nuova costruzione né per la certificazione energetica di edifici esistenti.

[37] Questo lavoro è stato redatto tra il 2009 e il settembre 2011, la prima parte della norma (maggio 2008) definisce la procedura per il calcolo del fabbisogno netto per il raffrescamento mentre solo di recentemente (marzo 2010) è stata pubblicata la parte 3 della norma UNI 11300 TS riguardante l'uso delle pompe di calore per il calcolo della energia primaria in regime estivo. Non è però ancora stata emanata la legge tecnica che sancisca e regoli l'inserimento della

Considerando anche che la maggior parte delle politiche di incentivazione è rivolta alla climatizzazione invernale o alla produzione di ACS, si è ritenuto opportuno completare la metodologia in modo che potesse in qualche modo relazionarsi con le attuali normative vigenti, lasciando ad un secondo momento l'implementazione del calcolo in regime estivo.

In ogni caso in questo paragrafo si affronterà l'argomento esplicitando i punti critici incontrati nell'approntamento del toolset per il calcolo in regime estivo confrontandoli con quanto richiesto dalla norma e con l'approccio di DOCET. Lo scopo di questo paragrafo sarà perciò inquadrare con precisione i punti che saranno cruciali per l'implementazione del calcolo in regime di climatizzazione estiva nel toolbox RET. A tal fine si inizierà con un cenno al calcolo standard della norma ed alla metodologia proposta da DOCET e poi si esporranno alcuni punti in cui il toolset necessita di implementazione.

6.2.10.1 L'approccio della norma UNI 11300 parte 1 e di DOCET.

Il calcolo del fabbisogno netto in regime estivo segue le stesse fasi di quello invernale e ne utilizza anche buona parte dei risultati. In particolare la quantità istantanea relativa al guadagno interno (17) è costante per ogni mese dell'anno e lo è anche il coefficiente globale di scambio termico (7,8) dipendendo dalla forma e dai materiali dell'edificio; mentre il flusso termico solare (14,15,16) e le perdite per ventilazione (12) variano di mese in mese dipendendo dall'irraggiamento medio mensile e dalla temperatura esterna media mensile. Perciò la formula per il fabbisogno netto dell'involucro per raffrescamento utilizza più o meno gli stessi fattori della (25) calcolati però per la stagione estiva (punto 5.1 UNI 11300).

Needc = (Qcint+ Qcsol) - Futc *(Qcve+ Qct) [kWh] (26)

Con:
Needc = fabbisono netto dell'involucro per raffrescamento
Qcint = guadagno di calore interni mensili medi nella stagione di raffrescamento
Qcsol = guadagno di calore mensile medio per irraggiamento solare nella stagione di raffrescamento
Qcve = perdita di calore per scambio termico per ventilazione nella stagione di raffrescamento
Qct = perdita di calore per scambio termico attraverso l'involucro, nella stagione di raffrescamento
Futc = fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche

Dove

$Qct = Htr*(_{int} - _{est})*t + ExFlu*t$ (27)

Con:
Qct = perdita di calore per scambio termico attraverso l'involucro, nella stagione di raffrescamento [kWh]
$_{int}$ = temperatura interna, la norma prevede 20c° ma è un paramento settabile del tool
$_{est}$ = temperatura media mensile estratta dai dati climatici provinciali
$t = 3600*24*GR*2{,}79*10^{-7}$; con GR i giorni di raffrescamento calcolati dalla (XX)
Htr = coefficiente globale di scambio termico [W/t] costante dell'edificio.

---

parte terza della norma nella Certificazione Energetica e nelle verifiche di efficienza energetica per le nuove costruzioni.

ExFlu = extraflusso calcolato per i mesi estivi

$$Qcint = \Phi int * t \qquad [kWh] \qquad (28)$$

Con:
Qcint = guadagno di calore interni mensili medi nella stagione di raffrescamento
Φint = flusso termico istantaneo dovuto ad apporti interni, costante per ogni mese.
t = 3600*24*GR*2,79*10^{-7}; con GR i giorni di raffrescamento calcolati dalla (XX)

$$Qcve = Hve*({}_{int} - {}_{est})*t \qquad (29)$$

Con:
Qcve = perdita di calore per scambio termico per ventilazione nella stagione di raffrescamento [kWh]
$_{int}$ = temperatura interna, la norma prevede 20c° ma è un paramento settabile del tool
$_{est}$ = temperatura media mensile estratta dai dati climatici provinciali
t = 24*GR*2,79*10^{-7}; con GR i giorni di raffrescamento calcolati dalla (XX)
Hve = quantità istantanea costante

$$Qcsol = (\sum Fsol_k + FsolO_b)*t \qquad [kWh] \qquad (30)$$

Con:
Qcsol = guadagno di calore mensile medio per irraggiamento solare nella stagione di raffrescamento
$\sum Fsol_k$ = sommatoria degli $Fsol_k$ per ogni edificio, dipendente dall'irraggiamento medio mensile
$FsolO_b$ = flusso solare della copertura del b-esimo edificio per un giorno medio mensile
t = GR/3,6; con GR i giorni di raffrescamento calcolati dalla (XX)

Come si vede dalle precedenti formule i fattori del calcolo in regime estivo sono molto simili a quelli invernali: le principali differenze sono relative alla determinazione della stagione di raffrescamento (punto 10.2, UNI 11300-1) ed al calcolo dei fattore di utilizzazione dello scambio termico (punto 15.1.2, UNI 11300-1).

La stagione di raffrescamento non è istituita per legge come per il caso invernale, ma, secondo la norma deve essere definita per ogni zona termica in base alla temperatura media mensile, la temperatura interna e le caratteristiche dell'involucro verificando la (31) per ogni giorno del mese: se questa è verificata allora il giorno appartiene alla stagione definendo così dei GR diversi per ogni edificio[38].

$${}_{est} > {}_{int} - (Qhint_d + Qhsol_d) / ((Htr + Hve)*t_d) \qquad (31)$$

Con:
$Qcint_d$ = guadagno di calore interno medio giornaliero
$Qcsol_d$ = guadagno solare medio giornaliero
Hve= coefficiente globale di scambio termico per ventilazione [J/hK]
Htr = coefficiente globale di scambio termico per trasmissione [W/K]
$_{int}$ = temperatura interna, la norma prevede 26c° ma è un paramento settabile del tool
$_{est}$ = temperatura esterna media giornaliera, il calcolo viene effettuato per interpolazione utilizzando le temperature medie mensili, fornite dai dati climatici, assegnate al 15-esimo giorno del mese.
t_d = durata del giorno

[38] In realtà questo metodo è proposto anche per la definizione della stagione di riscaldamento nel caso si stia effettuando il calcolo nella modalità più dettagliata chiamata "*Adattata all'utenza*" (Punto 10.1.2 della UNI 11300 parte 1)

il fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche (Futc) è calcolato con modalità simili a quello degli apporti termici (20, 21, 22, 23, 24) ma con ulteriori parametri e dei settaggi diversi (punto 15.1.2 della UNI 11300 parte 1):

Se $g_c > 0$ e non $g_c = 1$

$$Futc = (1- g_c\text{^}a_c)/(1- g_c\text{^}(a_c+1)) \qquad (32)$$

Se $g_c = 1$

$$Futc = a_c/(a_c+1)$$

Se $g_c < 0$

$$Futc = 1$$

Dove:

g_h = (Qcint+ Qcsol)/(Qcve+ Qct) rapporto tra gli apporti termici mensili e le dispersioni, tale parametro varia di mese in mese, ma si possiedono già tutti i dati per il suo calcolo.

$$a_c = a_{c0} + \ / \ _{c0} - k*(A_w/A_f) \qquad (33)$$

con:

a_{c0} = 8,1, per il calcolo mensile

$_{c0}$ = 17 [h]

K = 13

A_w = superficie finestrata [mq]

A_f = superficie utile climatizzata [mq]

= costante di tempo termica [h], valore caratteristico dell'edifico utilizzato sia per il calcolo in regime invernale che estivo

Come si può notare le quantità istantanee relative ai guadagni termici e alla perdite di calore sono ancora determinate su base mensile, ma il fattore tempo delle (27,28,29,30) dipenderà dal numero di giorni inseriti nella stagione di raffescamento in maniera differente per ogni edificio. Tale fattore produce notevoli differenze nella durata della stagione di raffrescamento nelle diverse tipologie di edifici: effettuando alcuni esempi di calcolo nella zona climatica C della città di Cagliari si sono trovate durate variabili tra poco più di due mesi a quasi quattro; naturalmente tale ampio range porta a fabbisogni netti altrettanto variabili che rendono difficile adottare una durata standard della stagione come nel caso del riscaldamento.

DOCET effettua una valutazione di precisione maggiore utilizzando le temperature medie giornaliere, determinate per interpolazione sulla base dei dati climatici della norma, anche per il calcolo su base giornaliera delle perdite di calore per scambio termico e ventilazione; in altre parole, nonostante non sia esplicitamente richiesto dalla norma, il software semplificato propone un calcolo del fabbisogno netto in regime estivo su base giornaliera e non mensile.

6.2.10.2 Verso l’implementazione del toolset (D)

D_cooling_need
D1_cooling_season
D2_shell_cooling_Qtc[kWh]
D3_cooling_Qvec[kWh]
D4_cooling_Qsolc[kWh]
D5_cooling_Qintc[kWh]
D6_FUc_calculation
D7_cooling_need

Fig. n°6.58 schema del toolset D

Da quanto esposto nel paragrafo precedente è facile dedurre che il punto cruciale per la determinazione del fabbisogno netto per la climatizzazione è l’impostazione di un tool capace di individuare la stagione di raffrescamento in maniera specifica per ogni edificio. Per quanto riguarda gli altri tool basterà seguire gli stessi step del calcolo in regime invernale, utilizzando quanto già calcolato precedentemente (fig. n°6.58). Il primo tool calcolerà la stagione di raffescamento; gli altri applicheranno le (26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33) e quanto già calcolato con il toolset C per ottenere il fabbisogno netto estivo.

Il tool D1 attualmente implementato, propone una forte semplificazione verificando la (31) solo per la temperatura media mensile fornita dai dati climatici al 15 del mese. Quando la temperatura esterna più il contributo dei fattori di guadagno solare sono maggiori della temperatura interna il mese è da considerare appartenente alla stagione di raffrescamento. Ossia, riferendosi alle quantità precedentemente calcolate dal toolset (34), quando Δ è minore di zero ci sarà necessità di raffrescamento.

$$\Delta = {}_{int} - {}_{est} - (3600*24*\Phi int + (\sum Fsol_k + FsolO_b)*1000000)* / ((3600*24*Htr + Hve*24) \qquad [K] \qquad (34)$$

Con:
$\sum Fsol_k$ = sommatoria degli $Fsol_k$ per ogni edificio [MJ/giorno]
$FsolO_b$ = flusso solare della copertura del b-esimo edificio per un giorno medio mensile [MJ/giorno]
Hve= coefficiente globale di scambio termico per ventilazione [J/hK]
Htr = coefficiente globale di scambio termico per trasmissione [W/K]
Φint = flusso termico istantaneo dovuto ad apporti interni [W]
${}_{int}$ = temperatura interna, la norma la prevede 26c° ma è un paramento settabile del tool
${}_{est}$ = temperatura esterna media mensile assegnata al 15- esimo giorno

Tale valutazione semplificata su base mensile della stagione di raffrescamento porta a risultati molto discordanti rispetto a quelli proposti da DOCET o calcolati applicando la norma con l’ausilio di un foglio di calcolo. L’implementazione di un tool efficace sarà uno dei prossimi step nello sviluppo della metodologia e permetterà di completare i ragionamenti riguardo al fabbisogno energetico degli edifici per ora limitato al regime invernale.

Un altro punto da dirimere riguardo al calcolo del fabbisogno netto dell’involucro per la climatizzazione estiva sono i parametri da inserire riguardo alla gestione delle schermature mobili. Se nel calcolo invernale il guadagno solare gioca un ruolo di secondo piano rispetto alle perdite per scambio termico attraverso l’involucro, nel regime estivo non considerare l’influenza delle schermature porterebbe ad una forte sovrastima del fabbisogno. In particolare diventa necessario effettuare alcune ipotesi circa il tipo di schermatura mobile presente, ossia circa il valore di Gglsh, e confrontare quindi i risultati sia con quanto proposto da DOCET che con i risultati del calcolo secondo norma svolto su un foglio elettronico. Tali ipotesi

possono essere essenzialmente di due tipi: *la prima* sarebbe ipotizzare semplicemente la presenza della stessa schermatura in tutti i casi (per esempio una tenda prospetto 14, punto 14.3.3 della UNI 11300 parte 1): questo porterebbe ad una diminuzione del guadagno solare estivo di una percentuale costante in tutti gli edifici; per esempio nel caso invernale si è calcolato il guadagno solare senza considerare le schermature e lo si è confrontato con il risultato di DOCET osservando che quest'ultimo era inferiore di una percentuale pressoché constante. *La seconda* è quella di cercare di definire un tipo di schermatura esterna in relazione all'archetipo: ad esempio si può ipotizzare, con buona approssimazione, che se non sono visibili all'esterno persiane o portelloni la finestra sia attrezzata con tapparelle, oppure ipotizzare una diversa struttura degli infissi a seconda dell'anno di costruzione dell'immobile. Se da una parte è verosimile ipotizzare la presenza di una generica schermatura, come ad esempio una tenda, dall'altra questa ipotesi non darebbe rilievo alle differenze che pur caratterizzano fortemente i diversi tipi di schermature mobili limitando l'efficacia del modello soprattutto nel calcolo estivo. Legare in qualche modo il tipo schermatura ad un'altra caratteristica dell'edificio può essere uno degli aspetti relativi ad un approfondimento dello studio delle tipologie, oppure può essere inserito in una più vasta campagna di acquisizione di dati tramite sondaggi e questionari distribuiti alla popolazione o in rete. Inoltre la norma non fornisce i valori standard di Gglsh da utilizzare nel caso di alcuni tipi comuni di schermature mobili (quali persiane e tapparelle), perciò allo studio tipologico della schermatura sarebbe anche necessario associare anche la definizione del valore stesso da inserire.

Per queste motivazioni, all'interno dei tempi limitati di questo studio, si è ritenuto opportuno dare più spazio alla sperimentazione della metodologia nella sua interezza come metodo per la valutazione di ipotesi di scenario. Si lascerà dunque ad un successivo doveroso approfondimento l'approntamento definitivo del toolset relativo alla climatizzazione estiva con il suo relativo studio di sensitività, magari con l'implementazione delle norme di legge relative al regime estivo attualmente mancanti.

6.3 Calcolo del fabbisogno di Energia Primaria e dei rendimenti

In questo capitolo si discuterà riguardo l'implementazione del toolset per il calcolo del fabbisogno di Energia Primaria e dei rendimenti degli impianti; ossia si determina quanta energia è effettivamente necessario fornire agli impianti per mantenere le condizioni di comfort degli ambienti, tenendo conto dell'efficienza degli impianti stessi. Il calcolo è concettualmente molto semplice: i fabbisogni netti determinati nel toolset precedente (C e D) si dovranno moltiplicare per i valori di rendimento tipici delle soluzioni impiantistiche utilizzate. In base ai valori ottenuti si potranno desumere: i consumi di combustibili e di energia elettrica, l'Energia Primaria, i costi operativi e la classe energetica.

Residential_Energy_Toolbox
A_input_data
B_surfaces_Azimut_obstrucion_analysis
C_heating_shell_need
D_cooling_need
E_DHW_need
F_Energy_consumption_UNI_11300_2
F1_preparation
F2_Boiler_UNI_11300_2
F3_HP
F4_EPI_gl
G_Energy_consumption
G1_EPgl_Euro_CO2
G2_EPcool_Euro_CO2
G3_energy_label

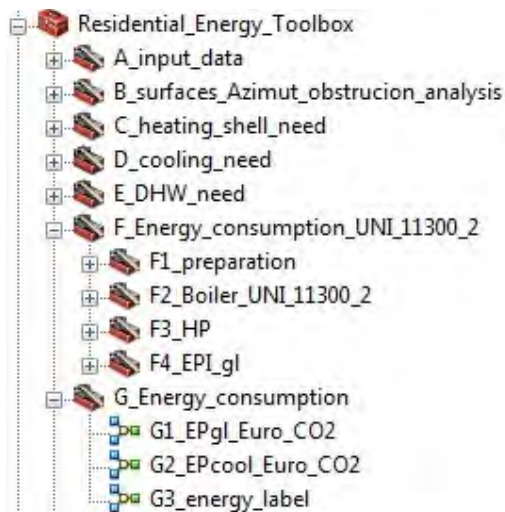



Fig. n°6.59, diagramma albero dei tooset F e G

La norma UNI 11300 parte 2 fornisce sia le procedure standard per il calcolo dei rendimenti degli impianti a caldaia per il riscaldamento e l'ACS che delle semplici formule per calcolare il fabbisogno per ACS. La parte terza della norma invece si riferisce alle pompe di calore, ma le sue metodologie di calcolo non sono ancora state inserite nelle prescrizioni della legislazione tecnica italiana. Di seguito si approfondirà l'approccio proposto nella seconda parte della norma evidenziando alcune criticità riguardo al suo uso nel software RET, mentre riguardo la parte terza ci si ripropone di affrontare l'argomento in un'altra sede quando sarà inserito nella normativa tecnica italiana.

Come si avrà occasione di discutere, il limite maggiore del calcolo dei consumi è riguardo ai suoi dati di input, ossia alla possibilità di conoscere con una certa attendibilità e completezza le informazioni sul tipo di impianto utilizzato in ogni edificio. Per dare una risposta, seppur funzionale al completamento della metodologia, in questa sede si proporrà anche un approccio semplificato poi utilizzato nel caso applicativo che partirà da alcune forti ipotesi: la prima che ogni edificio sia alimentato da un solo tipo di impianto (ipotesi per altro condivisa anche dal software DOCET in modalità certificazione per edificio), la seconda che il tipo di impianto sia definibile in relazione alla tipologia edilizia ed all'anno di costruzione.

6.3.1 I data base informativi disponibili

Come già ricordato il calcolo del fabbisogno di energia primaria, ossia in altre parole il calcolo dei consumi, dipende essenzialmente dalle caratteristiche degli impianti di riscaldamento e raffrescamento e da quelli per la produzione di Acqua Calda Sanitaria. La norma UNI 11300 nella parte 2 esplicita i metodi per il calcolo dei redimenti degli impianti di riscaldamento e di produzione di ACS, ma come si vedrà nel paragrafo successivo, il reperimento dei dati di ingresso del calcolo è particolarmente difficile alla scala urbana. Anche

se alcuni enti pubblici possiedono delle informazioni a riguardo, esse sono spesso lacunose e non comprendono tutte le tipologie di impianti utilizzati negli edifici residenziali.

La Provincia ha competenza in materia di controllo sull'esercizio e sulla manutenzione degli impianti termici installati nei comuni che hanno meno di 40000 abitanti; per quelli di dimensione maggiore tale competenza ricade all'amministrazione comunale[39]. La provincia di Cagliari sta redigendo un data base degli impianti termici per uso residenziale partendo dai dati delle vendite dei combustibili registrati presso le ditte fornitrici e da informazioni inviate dai tecnici manutentori, ma tale data base non riguarda le città maggiori ed è ancora lontano dall'essere completato; il Comune di Cagliari non ha attivato questo tipo di servizio.

L'azienda Sanitaria Locale, con il servizio di prevenzione e sicurezza sui luoghi di lavoro, deve autorizzare e periodicamente controllare tutti gli impianti in pressione ad uso residenziale, e non solo, che superino il 35kWh di potenza[40]. Riferendoci agli impianti di nostro interesse il servizio ISPES possiede un data base aggiornato di tutte le caldaie di riscaldamento che servono impianti condominiali o di potenza superiore a quella delle caldaie generalmente utilizzate per la singola abitazione. L'ASL di Cagliari ha competenza su tutto il territorio della provincia di Cagliari e Oristano, e possiede un data base in formato excel, al quale però allo stato attuale non si è potuto ancora avere accesso. Tale database sarebbe di grande utilità soprattutto in ambito urbano denso dove la maggior parte degli impianti di riscaldamento sono condominiali, fornendo molte informazioni quali l'anno di installazione, il tipo e la potenza al focolare della caldaia, il tipo di combustibile e una gran quantità di notizie circa il tipo di impianto.

I Vigili del Fuoco hanno la competenza sugli impianti termici con potenza superiore ai 116 kW per i quali devono rilasciate un Certificato di Prevenzione Incendi. Il data base da loro tenuto è centralizzato a livello nazionale e non sembra dare la possibilità alla filiale locale di estrazioni di file in formato digitale contenenti i dati di numerose utenze.

L'ENEA da anni conserva la documentazione delle domande di detrazione fiscale per opere di riqualificazione energetica. Tale documentazione contiene un calcolo effettuato in modalità standard dei fabbisogni energetici dell'edificio con l'esplicitazione del tipo di impianti e di strutture edilizie presenti. Naturalmente tali dati sono parziali rispetto all'intero patrimonio edificato, ma possono da una parte fornire la misura della diffusione delle opere di riqualificazione energetica che può essere preziosa in sede di studio tipologico del patrimonio edificato e, dall'altra, fornire dati puntuali da inserire direttamente nel modello in quanto mantengono il riferimento all'identificativo catastale.

L'Ente Nazionale per l'energia elettrica (ENEL-TERNA) conserva i dati relativi ai consumi elettrici di ogni utenza di tutta la nazione. Naturalmente tale informazione potrebbe essere preziosa per

---

[39] Tale competenza deriva dalla Legge nazionale 10/1991 (con alcuni decreti attuativi il DPR 412/93 e DPR 551/1999) integrata dal D.Lgs 192/2005 e dal D.Lgs 311/2006. La regione Sardegna con la legge n° 9 del giugno 2006 demanda il controllo degli impianti termici alla provincie e/o comuni che il D.Lgs 192/2005 aveva ridato alle regioni.

[40] in base al DM 01/12/1975

valutare la rispondenza delle previsioni del modello con quanto realmente si consuma, o cambiando completamente approccio, potrebbe fornire i dati di base per l'implementazione di un modello statistico dei fabbisogni a scala urbana. La richiesta di accesso ai dati effettuata presso la sede cagliaritana dell'ente ha però riscontrato difficoltà di natura tecnica e di natura normativa: il data base è centralizzato a livello nazionale, e i dati dei consumi delle utenze (le bollette) sono conservati in un sistema informativo separato rispetto a quello dei dati di produzione di energia. Per quanto riguarda il consumo delle utenze il data base non permette facilmente interrogazioni multiple in quanto la chiave è il solo codice utente univoco per ogni unità immobiliare, inoltre le informazioni che sono contenute sono parzialmente protette dalla legge sulla privacy. I dati di produzione sono invece disponibili ed accessibili con forte dettaglio temporale ma limitati riferimenti spaziali: l'ente gestore delle reti può fornire i dati riferiti alle cabine di trasformazione che però distribuiscono energia ad ampie parti del territorio all'interno delle quali non è possibile ottenere una ripartizione spaziale. In ogni caso, pur ottenendo dati con adeguata precisione spaziale, si avrebbero informazioni solo sui consumi per riscaldamento alimentati dalla rete elettrica ed inoltre sarebbe anche necessario isolarne la quota rispetto ai consumi elettrici per illuminazione ed elettrodomestici.

Un'altra possibile fonte di informazione riguardo agli impianti ed ai consumi del patrimonio edificato urbano sono i data base degli enti che gestiscono alcuni impianti e servizi municipali (es: le reti di distribuzione del GAS di città, teleriscaldamento). I dati disponibili però varieranno da città in città in quanto si tratta di enti a carattere prettamente locale e naturalmente non avranno una copertura nazionale in quanto solo i centri maggiori possiedono reti urbane di distribuzione del GAS. Nel caso di Cagliari, la società che gestisce la rete di distribuzione del GAS (ISGAS) possiede i dati relativi ai consumi con il riferimento all'identificativo catastale, ed inoltre ha l'informazione circa l'uso della fornitura divisa per: riscaldamento, cucina, professionale. Il data base dell'ente permetterebbe estrazioni di informazioni in un comodo formato di foglio di calcolo ma, allo stato attuale, non si è ancora avuto accesso ai dati a causa della normativa sulla privacy che non ne permette la divulgazione.

I data base presenti presso le amministrazioni, qualora disponibili, possono dare informazioni utili alla stima dell'efficienza degli impianti e per strutturare i dati di input necessari alla metodologia proposta dalla norma. Tali informazioni sono però disponibili solo per gli impianti di maggiore dimensione; per quelli più piccoli utilizzati nella singola unità abitativa attualmente non abbiamo dati ufficiali, perciò ci si dovrà comunque riferire a definizioni per tipo basate sulle conoscenze esperte o su studi effettuati ad hoc. Ma la completezza del dato non è il solo ostacolo: infatti, quand'anche i dati siano disponibili e completi non sempre il loro formato o i loro attributi permettono una facile implementazione degli stessi nella metodologia di calcolo di RET. Tutti i data base elencati sono privi di riferimenti spaziali, o meglio pur possedendo l'attributo dell'indirizzo in linea generale questo non potrà essere facilmente collegato ai poligoni rappresentanti l'edificio che abbiamo usato nella metodologia. Gli indirizzi sono spesso scritti con abbreviazioni che possono portare a errori o fraintendimenti e non permettono procedure automatiche di

link tra database differenti, mentre potrebbe essere utile a questo scopo l'identificativo catastale, in quanto semplice ed univoco, che però non sempre è presente nei data base disponibili. Alcuni data base poi, specialmente quelli molto vasti e centralizzati a livello nazionale, non danno la possibilità agli operatori locali di effettuare filtri e query multiple rendendo fortemente disagevoli operazioni multiple di estrazione di dati.

Per concludere, la strutturazione dei dati di ingresso per il calcolo dell'Energia Primaria, ossia dei consumi, è uno dei temi aperti di questo tipo di modelli per il calcolo del fabbisogno energetico alla scala urbana o territoriale (Robinson 2007, 2009) che questo lavoro non ha la pretesa di affrontare in maniera completa. Per altro ogni contesto nazionale, regionale e forse anche comunale, necessiterà di approfondimenti diversi in quanto la disponibilità di dati locale è molto variabile e determinerà in larga parte la rappresentatività del modello. Poiché lo scopo di questo lavoro è mostrare le potenzialità di uno strumento di aiuto alla decisione riferito alle politiche energetiche in ambito urbano, dopo una rapida ricerca sui data base disponibili ed alcuni colloqui con i curatori degli stessi, si è deciso di lasciare ad un approfondimento successivo lo studio della possibilità di combinare le informazioni disponibili per strutturare i dati di input del calcolo. Ossia considerando che in un caso generale le informazioni sono lacunose e incomplete, nel nostro lavoro si partirà dalla mancanza di dati ufficiali riguardo agli impianti e si strutturerà una metodologia basata ancora una volta su un approccio per tipi. Si presupporrà, cioè, che per impostare correttamente i dati necessari al calcolo della EP si dovrà svolgere uno specifico studio a scala locale e ci si appoggerà alla conoscenza esperta degli attori partecipanti al processo decisionale.

6.3.2 L'implementazione dell'approccio della norma UNI 11300 parte 2 nel toolset F

In questo paragrafo si presenterà brevemente l'approccio proposto dalla norma confrontandolo con i dati disponibili e mostrando come questo possa essere implementato all'interno del toolset. Diciamo in anticipo che il toolset F, qualora fossero disponibili i dati di input, è già capace di effettuare i calcoli secondo il *"Metodo di calcolo semplificato*" (punto 6.8 UNI 11300 parte 2) ma per i motivi che verranno spiegati in questo paragrafo non verrà utilizzato nell'applicazione al caso reale, in luogo di una metodologia più semplificata.

La seconda parte della norma fornisce le specifiche tecniche per il calcolo (punto 1 UNI 11300 parte 2): del fabbisogno di energia utile per acqua calda sanitaria; dei rendimenti e dei fabbisogni di energia elettrica degli ausiliari dei sistemi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria; dei fabbisogni di energia primaria per la climatizzazione invernale e per la produzione dell'acqua calda sanitaria. La specifica tecnica si applica a sistemi di nuova progettazione, ristrutturati o esistenti di riscaldamento ed ACS con l'uso di caldaie e può essere usata nella valutazione energetica *standard (A2), di progetto (A1) o adatta all'utenza* (A3) già introdotte nella parte 1 della norma.

La norma fornisce i metodi per il calcolo del fabbisogno termico effettivo, ossia della energia che deve essere fornita all'impianto per garantire la sua prestazione tenendo conto delle perdite e delle inefficienze dello stesso. In particolare gli impianti vengono suddivisi in sottoinsiemi per i quali vi saranno sempre delle perdite aggiuntive e talvolta anche recuperi di calore (tab. 6.30). Per ciascun sottosistema, identificato con il pedice *x*, si deve determinare il fabbisogno di energia in ingresso in base a quello di uscita e delle perdite, vale il seguente bilancio termico:

$$Q_{in,x} = Q_{out,x} + (Q_{l,x} - Q_{lrh,x}) - Q_{aux,lrh,x} \quad [Wh] \quad (1)$$

Con

$Q_{in,x}$ = il fabbisogno di energia richiesto in ingresso del sottosistema;
$Q_{aux,x}$ = l'energia ausiliaria totale richiesta;
$Q_{l,x}$ = le perdite;
$Q_{lrh,x}$ = le perdite recuperate
$Q_{out,x}$ = energia utile da fornire in uscita;
$Q_{aux,lrh,x}$ energia termica recuperata dagli ausiliari elettrici (tale fattore non è considerato nel metodo di calcolo semplificato)

Per la determinazione dei fattori della (1) è necessario conoscere a fondo il tipo di impianto presente oppure si può utilizzare la specifica tecnica che fornisce metodologie semplificate per la determinazione delle perdite dei vari sottosistemi basate su alcune caratteristiche tipologiche degli edifici e sull'età di costruzione (tab. n°6.31). In questo paragrafo si farà riferimento solo al calcolo standard per mostrare come sia possibile implementare un toolset per effettuare il calcolo delle perdite dei vari sottoinsiemi combinando convenientemente le informazioni già utilizzate per il calcolo del fabbisogno netto con le tabelle fornite da questa specifica tecnica.

Impianti di riscaldamento	**Impianti di acqua calda sanitaria**
sottosistema di emissione	sottosistema di erogazione
sottosistema di regolazione dell'emissione di calore in ambiente	sottosistema di distribuzione
sottosistema di distribuzione	eventuale sottosistema di accumulo
eventuale sottosistema di accumulo	sottosistema di generazione
sottosistema di generazione	

Tab.n°6.30 sottosistemi degli impianti di riscaldamento e ACS per la determinazione dei rendimenti e delle perdite

Sottosistema	Valutazioni di calcolo			
	A1 e A2		A3	
Emissione	H ≤ 4 m	H > 4 m	H ≤ 4 m	H > 4 m
	Valori da prospetto 17	Valori da prospetto 18, ove siano verificate le condizioni al contorno. Negli altri casi: calcolo	Valori da prospetto 17	Calcolo e misure in campo
Regolazione	Valori da prospetto 20			
Distribuzione	A1	A2	A3	
	Metodo dell'appendice A	Valori da prospetto 21 Quando le condizioni sono tra quelle specificate per i dati precalcolati si possono utilizzare tali dati, in caso diverso metodo dell'appendice A.		
Generazione	Valori dei prospetti 23 Quando sono rispettate le condizioni al contorno. Negli altri casi, calcolo con i metodi dell'appendice B.			

Tab. n°6.31, schema per l'uso dei prospetti della norma nelle tre modalità di calcolo: A1, progetto; A2, standard; A3, valutazione adattata all'utenza.

6.3.2.1 Sottosistema di emissione (punto 6.6.1 UNI 11300 TS -2)

La specifica tecnica fornisce due differenti prospetti in funzione dell'altezza media dei locali (tab. n°3 e n°4) per valutare il rendimento di emissione in base al tipo di terminale ed al carico medio annuo. Utilizzando il rendimento di emissione si possono calcolare le perdite per emissione con la:

$$Qle = Qout_e*(1- \ _e)/ \ _e \qquad (2)$$

Con
Qle = perdite per emissione
$Qout_e$ = energia da fornire in uscita, nel nostro caso si tratta del fabbisogno netto per riscaldamento già calcolato con il toolset C
$_e$= rendimento di emissione, dai prospetti 17 e 18

Il valore di rendimento di emissione può essere determinato automaticamente dal toolset che prima effettua una controllo sull'altezza interna degli appartamenti inserita come dato nella definizione di archetipo per selezionare il prospetto da utilizzare, poi effettua un calcolo del carico termico e lo utilizza per selezionare il valore corretto dal prospetto. L'unico dato che deve essere aggiunto in questa fase è *il tipo di terminale di erogazione*; in mancanza di data base ufficiali tale informazione può essere implementata manualmente o definita per tipi grazie ad uno studio che potrebbe legare il tipo di erogazione presente alle caratteristiche dell'archetipo o all'età di costruzione.

Rendimenti di emissione (η_e) in locali di altezza minore di 4 m

Tipo di terminale di erogazione	Carico termico medio annuo W/m³ a)		
	<4	4-10	>10
	η_e		
Radiatori su parete esterna isolata (*)	0,95	0,94	0,92
Radiatori su parete interna	0,96	0,95	0,92
Ventilconvettori (**) valori riferiti a t_{media} acqua = 45 °C	0,96	0,95	0,94
Termoconvettori	0,94	0,93	0,92
Bocchette in sistemi ad aria calda (***)	0,94	0,92	0,90
Pannelli isolati annegato a pavimento	0,99	0,98	0,97
Pannelli annegati a pavimento (****)	0,98	0,96	0,94
Pannelli annegati a soffitto	0,97	0,95	0,93
Pannelli a parete	0,97	0,95	0,93

a) Il carico termico medio annuo, espresso in W/m³ è ottenuto dividendo il fabbisogno annuo di energia termica utile espresso in Wh, calcolato secondo la UNI EN ISO 13790, per il tempo convenzionale di esercizio dei terminali di emissione, espresso in ore, e per il volume lordo riscaldato del locale o della zona espresso in metri cubi.

*) Il rendimento indicato è riferito ad una temperatura di mandata dell'acqua di 85 °C.
Per parete riflettente, si incrementa il rendimento di 0,01.
In presenza di parete esterna non isolata (U > 0,8 W/m² K) si riduce il rendimento di 0,04.
Per temperatura di mandata dell'acqua ≤65 °C si incrementa il rendimento di 0,03.

**) I consumi elettrici non sono considerati e devono essere calcolati separatamente.

***) Per quanto riguarda i sistemi di riscaldamento ad aria calda i valori si riferiscono a impianti con:
- griglie di ripresa dell'aria posizionate ad un'altezza non maggiore di 2,00 m rispetto al livello del pavimento;
- bocchette o diffusori correttamente dimensionati in relazione alla portata e alle caratteristiche del locale;
- corrette condizioni di funzionamento (generatore di taglia adeguata, corretto dimensionamento della portata di aspirazione;
- buona tenuta all'aria dell'involucro e della copertura.

(****) I dati forniti non tengono conto delle perdite di calore non recuperate dal pavimento verso il terreno; queste perdite devono essere calcolate separatamente ed utilizzate per adeguare il valore del rendimento.

Tab. n°6.32, Prospetto 17, norma UNI 11300 parte 2

Rendimenti di emissione (η_e) in locali di altezza maggiore di 4 m[10]

Descrizione	Carico termico (W/m³)								
	<4			4 - 10			>10		
	Altezza del locale								
	6	10	14	6	10	14	6	10	14
Generatore d'aria calda singolo a basamento o pensile	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91
Aerotermi ad acqua	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91	0,90
Generatore d'aria calda singolo pensile a condensazione	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92
Strisce radianti ad acqua, a vapore, a fuoco diretto	0,99	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95
Riscaldatori ad infrarossi	0,98	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,94
Pannelli a pavimento annegati*)	0,98	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95
Pannelli a pavimento (isolati)	0,99	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95

* I dati forniti non tengono conto delle perdite di calore non recuperate dal pavimento verso il terreno; queste perdite devono essere calcolate separatamente ed utilizzate per adeguare il valore del rendimento.

Tab. n°6.33, Prospetto 18,norma UNI 11300 parte 2

6.3.2.2 **Sottosistema di regolazione** (punto 6.6.2 UNI 11300 TS -2)

Si tratta di un parametro, generalmente molto conservativo, che valuta in maniera standard l'efficacia del sistema di regolazione dell'impianto in funzione delle varie tipologie di regolatori associati a diverse tipologie di terminali di erogazione (tab. n°5). Tale valore dovrà essere fornito al toolset direttamente come dato di input; ossia, ancora una volta, dovrà essere ipotizzato sulla base delle informazioni disponibili o in base a specifici studi tipologici o campagne di acquisizione dei dati. Nel caso nostro il valore, preso dal prospetto 20, è assegnabile in base all'archetipo ed all'anno di costruzione.

Rendimenti (η_{rg}) di regolazione[12)]

Tipo di regolazione	Caratteristiche	Sistemi a bassa inerzia termica	Sistemi ad elevata inerzia termica	
		Radiatori, convettori, ventilconvettori, strisceradianti ed aria calda	Pannelli integrati nelle strutture edilizie e disaccoppiati termicamente	Pannelli annegati nelle strutture edilizie e non disaccoppiati termicamente
Solo Climatica (compensazione con sonda esterna)		$1 - (0,6\ \eta_u\ \gamma)$	$0,98 - (0,6\ \eta_u\ \gamma)$	$0,94 - (0,6\ \eta_u\ \gamma)$
Solo ambiente con regolatore	On off	0,94	0,92	0,88
	PI o PID	0,99	0,97	0,93
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,96	0,92
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,95	0,91
	P banda prop. 2 °C	0,95	0,93	0,89
Climatica + ambiente con regolatore	On off	0,97	0,95	0,93
	PI o PID	0,995	0,99	0,97
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 2 °C	0,97	0,96	0,94
Solo zona con regolatore	On off	0,93	0,91	0,87
	PI o PID	0,995	0,99	0,97
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 2 °C	0,94	0,92	0,88
Climatica + zona con regolatore	On off	0,96	0,94	0,92
	PI o PID	0,995	0,98	0,96
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,96	0,94
	P banda prop. 2 °C	0,96	0,95	0,93
Nota γ rapporto apporti/perdite. η_u fattore di utilizzo degli apporti definito nella UNI/TS 11300-1.				

Tab. n°6.34, Prospetto 20,norma UNI 11300 parte 2

La formula per il calcolo delle perdite di regolazione è simile alla (2)

$$Q\,lr = Qout_r*(1- {}_r)/ {}_r \qquad (3)$$

Con

Q lr = perdite per regolazione

$Qout_r$ = energia da fornire in uscita, nel nostro caso si tratta del Qle precedentemente calcolato

${}_r$= rendimento di regolazione, dal prospetto 20

6.3.2.3 Sottosistema di distribuzione (punto 6.6.3 UNI 11300 TS -2)

Il calcolo può essere effettuato in maniera analitica (allegato B della UNI 1300-2) oppure, nel caso di calcolo *standard* di nostro interesse, si possono utilizzare i prospetti forniti dalla norma stessa (prospetti 21a, b, c, d, e). Tali prospetti forniscono i rendimenti in funzione del tipo di sistema di distribuzione, dell'anno di installazione e, per gli impianti centralizzati in funzione del numero di piani dell'edificio. *Il Tipo di sistema di distribuzione,* è strettamente legato alle soluzioni costruttive utilizzate nell'edificio e perciò al suo periodo di costruzione, da cui anche l'assegnazione di tale tipologia verrà effettuata tramite l'archetipo riservandoci la possibilità di utilizzare dati specifici per edifico qualora fossero reperibili.

Il tool utilizzerà i dati riguardanti il tipo di distribuzione, l'anno di installazione, ed il numero di piani per selezionare, tramite opportune query, il valore corretto del rendimento di distribuzione da un data base nel quale sono stati inserite le informazioni dei prospetti 21 della norma (tab n°6.35).

Prospetto	Tipo impianto	Anno installazione	N° di piani
21a	Impianto autonomo	Prima 1961 1976-1961 1993-1977 Dopo 1993	
21b	Impianto centralizzato a distribuzione orizzontale	Prima 1961 1976-1961 1993-1977 Dopo 1993	da 1-3 piani oltre 3 piani
21c	Impianto centralizzato con montanti di distribuzione secondo legge 10/1991	Dopo 1993	1 2 3 4 Oltre 4
21d	Impianto centralizzato con montanti di distribuzione isolamento leggero (anni probabili 1993-1977)	Prima 1961 1976-1961 1993-1977 Dopo 1993	1 2 3 4 Oltre 4
21e	Impianto centralizzato con montanti di distribuzione senza isolamento (anni probabili prima 1977)	Prima 1961 1976-1961 1993-1977 Dopo 1993	1 2 3 4 Oltre 4

Tab. n°635, schema con i parametri che influenzano la scelta del rendimento di distribuzione dai prospetti della norma

La formula per il calcolo delle perdite di distribuzione è simile alla (2)

$$Q\ ld = Qout_d*(1-\ _d)/\ _d \qquad (4)$$

Con
Q ld = perdite per distribuzione
$Qout_d$ = energia da fornire in uscita, nel nostro caso si tratta di Qlr precedentemente calcolato
$_d$= rendimento di regolazione, dai prospetti 21a, 21b, 21c, 21d, 21e.

Il valore del rendimento di distribuzione ricavato dai prospetti suppone le temperature dei fluidi di mandata e di ritorno di progetto rispettivamente di 80° e 60° tipiche degli impianti che utilizzano i termosifoni; nel caso queste siano diverse, ossia nel caso si tratti di un impianto con temperature più basse tipiche ad esempio dei sistemi a vetilconvettori o pannelli radianti, si possono utilizzare i coefficienti di correzione del prospetto 22 della norma. Tale valore è solamente dipendente dalle ipotesi che si assumono circa il tipo di impianto presente in una data tipologia edilizia; perciò nella metodologia si inserirà il valore del fattore di correzione adeguato direttamente nell'archetipo in modo da poterlo utilizzare direttamente nei calcoli. Parimenti si inseriranno nell'archetipo anche le eventuali perdite di accumulo calcolate secondo la formula n°31 della norma, completamente dipendente dal tipo di impianto; nel nostro caso però vista l'infrequenza di tali soluzioni tecnologiche nell'area di studio verranno considerate sempre assenti.

6.3.2.4 Sottosistema di generazione (punto 6.6.5 UNI 11300 TS -2)

Determinare le perdite di generazione non è molto semplice perché, oltre che dipendere dal tipo di generatore esse sono influenzate anche dal suo dimensionamento rispetto al fabbisogno dell'edificio, dalle modalità di installazione e dalle sue condizioni di esercizio. La norma fornisce alcuni prospetti (23a, 23b, 23c, 23d, 23e) per i differenti tipi di sistemi di generazione che individuano i rendimenti di generazione in funzione di una serie di parametri correttivi:

F1 = rapporto fra la potenza del generatore installato e la potenza di progetto richiesta. Per generatori modulanti, F1 si determina con riferimento alla potenza minima regolata;
F2 = installazione all'esterno
F3 = camino di altezza maggiore di 10 m
F4 = temperatura media di caldaia maggiore di 65 °C in condizioni di progetto
F5 = generatore monostadio
F6 = camino di altezza maggiore di 10 m in assenza di chiusura dell'aria comburente all'arresto (non applicabile ai premiscelati)
F7 = temperatura di ritorno in caldaia nel mese più freddo

Prospetto	Generatore	Parametro correttivo
23a	Generatori di calore atmosferici tipo B classificati ** (2 stelle)	F1, F2, F3, F4
23b	Generatori di calore a camera stagna tipo C per impianti autonomi classificati *** (3 stelle)	F1, F2, F4
23c	Generatori di calore a gas o gasolio, bruciatore ad aria soffiata o premiscelati, modulanti, classificati ** (2 stelle)	F1, F2, F4, F5, F6
23d	Generatori di calore a gas a condensazione **** (4 stelle)	F1, F2, F5, F7
23e	Generatori di aria calda a gas o gasolio con bruciatore ad aria soffiata o premiscelato, funzionamento on-off. Generatori di aria calda a gas a camera stagna con ventilatore nel circuito di combustione di tipo B o C, funzionamento on-off.	F1 F2

Tab. n°6.36, schema con i parametri che influenzano la scelta del rendimento di generazione dai prospetti della norma

Come si può notare (tab. n°6.36) il valore del rendimento di generazione dipende da molti parametri che difficilmente saranno disponibili con adeguata precisione per un ambito a scala urbana. I parametri che dipendono dal tipo di installazione (F2, F3, F4, F6) probabilmente potrebbero essere legati ancora a semplificazioni per tipo sviluppabili tramite appositi studi sul posto; inoltre, in caso di dubbio, si potrebbe semplicemente assegnare il valore più penalizzante al fine ottenere una prudenziale sovrastima del fabbisogno. I fattori relativi al generatore, ossia il valore di rendimento di partenza e il parametro F1, sono quelli che influiscono maggiormente sul calcolo delle perdite di generazione e in generale sulla determinazione del fabbisogno di EP; in mancanza di informazioni ufficiali anche questi dati dovranno essere ipotizzati o definiti per tipo. In particolare il parametro F1 introduce una fonte di incertezza notevole in quanto il rapporto tra fabbisogno netto teorico e potenza nominale del generatore è caratterizzato da una forte variabilità. Si potrebbe utilizzare una stima della potenza nominale del generatore basata sul volume o sulla superficie riscaldata[41] ma l'uso di una stessa funzione per tutti gli edifici limiterebbe la rappresentatività del modello che in realtà è riferito ad una situazione molto più variabile.

La formula per il calcolo delle perdite di generazione è, come al solito, simile alla (2)

$$Q\mathrm{lg} = Q\mathrm{out}_g * (1- \ _g)/ \ _g \qquad (5)$$

Con

Q lg = perdite per distribuzione

$Q\mathrm{out}_g$ = energia da fornire in uscita, nel nostro caso si tratta di Qld precedentemente calcolato

$_g$= rendimento di regolazione, dai prospetti 23a, 23b, 23c, 23d, 23e.

6.3.2.5 Calcolo del fabbisogno di Energia Primaria per riscaldamento

Il calcolo implementato nel tool segue il "*Metodo di calcolo semplificato*" (punto 6.8 UNI 11300 parte 2) per i dettagli del quale si rimanda al testo della norma stessa, e necessita di una gran quantità di dati di input che nel nostro caso devono essere ipotizzati o definiti per tipi. Anche disponendo di alcune

[41] Esistono delle formule empiriche di dimensionamento in funzione della superficie o del volume da riscaldare molto utilizzate dagli installatori soprattutto negli anni passati che generalmente portavano ad un forte sovradimensionamento della potenza dell'impianto (COIANTE 2006).

informazioni ufficiali circa il tipo di generatore e la sua potenza, il grado arbitrarietà può rimanere molto elevato in quanto gli impianti, soprattutto nel loro sottosistema di regolazione e di generazione, sono soggetti a cambiamenti molto più veloci rispetto alle strutture murarie dell'edificio che spesso non hanno riscontro nei data base ufficiali. I dati di input del calcolo del fabbisogno di energia primaria sono divisi quindi nei quattro sottosistemi dell'impianto; nel caso del *"Metodo di calcolo semplificato"* è possibile definirne i rendimenti dai prospetti della norma in base ad alcuni parametri di input (tab. n°8). Alcuni di questi possono essere ricavati da informazioni già presenti in RET, quali il numero di piani o l'anno di costruzione, altri devono essere inseriti specificatamente per questo calcolo. In particolare i dati di input possono essere inseriti nella procedura di calcolo in maniera tipizzata in base alla tipologia edilizia o all'anno di costruzione dell'edifico, o in maniera specifica edificio per edificio (tab. n°6.37). Per quanto riguarda il sottosistema di emissione il carico medio annuo può essere facilmente calcolato come rapporto tra il fabbisogno netto e la stagione standard di riscaldamento della zona climatica, mentre l'altezza di interpiano è un dato presente nella definizione degli archetipi. Il tipo di sistema di erogazione dovrà essere assegnato per tipi, essendo sicuramente riscontrabile una relazione tra il tipo di erogatore e di impianto e l'anno di installazione del sistema: ad esempio per l'area di studio scelta è verosimile supporre che un sistema di riscaldamento centralizzato a colonne montanti realizzato negli anni '50-'60 avrà molto probabilmente degli erogatori tipo radiatori ad alta temperatura su pareti non isolate, e sarà alimentato con caldaie particolarmente sovradimensionate a gasolio. Con questa logica perciò possono essere assegnati anche i valori relativi ai sottosistemi di distribuzione e regolazione. Mentre l'anno di installazione del sistema di distribuzione dell'impianto è generalmente coincidente con l'anno di costruzione dell'edifico, perché un suo rinnovamento comporta lavori edili che ne fanno aumentare i costi ed i disagi per il proprietario, il generatore è sottoposto ad un'usura molto superiore e viene cambiato con una certa regolarità. In prima battuta si potrebbe quindi assegnare direttamente una tipologia di distribuzione in funzione della tipologia edilizia e quindi dell'anno di costruzione, ma in realtà, specie per gli edifici più vecchi, l'impianto può essere stato realizzato in un momento successivo rispetto alla costruzione dell'edificio. Quindi, nella situazione più generale si potrebbero trovare impianti con una data di realizzazione dei suoi sottosistemi di erogazione e distribuzione generalmente coincidente con quella dell'edifico e con una data di installazione del generatore diversa e probabilmente più recente. L'anno di installazione dell'impianto e del sistema di generazione è perciò informazione molto preziosa che permetterebbe di tipizzare in maniera più precisa le caratteristiche dei sottosistemi; tale informazione è contenuta, per gli impianti di dimensione maggiore, nel database dell'ISPES dove unitamente a questi dati ne sono presenti molti altri tra i quali la potenza nominale ed il tipo di generatore, il combustibile utilizzato e il tipo di installazione. Perciò, qualora risultassero disponibili i dati di input, il toolset F (fig. n°6.59) è in grado di effettuare il calcolo del fabbisogno di EP strutturando la procedura in quattro toolset: il primo imposta i dati per il calcolo recuperandoli dai prospetti forniti dalla norma in base ai dati di input; il secondo

calcola le perdite dei sottosistemi e ricava il fabbisogno di EP; il terzo calcola il fabbisogno di EP nel caso di impianti a pompa di calore; il quarto assegna l'etichetta di classe energetica.

Allo stato attuale dello studio, però, questo data base non è ancora accessibile; perciò per svolgere i calcoli si dovrebbe effettuare un grande numero di ipotesi rendendo il risultato altamente arbitrario. Inoltre, la specifica tecnica è riferita solo a sistemi con generatori a caldaia che in questi anni stanno venendo soppiantati dai più versatili sistemi a pompa di calore, per i quali però la normativa italiana non ha ancora indicato procedure di calcolo standard. Perciò l'applicazione del calcolo della seconda parte della norma riguarderebbe solo una quota parziale del patrimonio edificato, mentre il fabbisogno di EP della parte restante verrebbe semplicemente calcolato in base al COP dei sistemi a Pompa di Calore (HP). Oltre l'arbitrarietà e la parzialità, un altro limite di questo tipo di calcolo è la sua poca versatilità nella simulazione di ipotesi alternative: la presenza di una gran quantità di valori tabellari e di vincoli al loro uso non permette di simulare la maggior parte delle soluzioni possibili mantenendo lo stesso grado di dettaglio del calcolo. In accordo con quanto osservato in altre simili esperienze di studio (ROBINSON 2009), si propone il calcolo della EP utilizzando solo un valore di rendimento complessivo dell'impianto in modo da semplificare i calcoli e il confronto tra alternative. In altre parole, lo studio dettagliato delle soluzioni impiantistiche verrà svolto con competenze più specialistiche alla scala dell'archetipo in base al quale si determinerà un range di rendimento minimo e massimo della tecnologia da utilizzare per confrontare le alternative in maniera più speditiva.

Sottosistema dell'impianto	**Dato di input ricavato dai dati già posseduti**	**Dato di input tipizzato per archetipo o anno di costruzione**	**Dato di input specifico per ogni edificio**
Sottosistema di emissione	Carico medio annuo Altezza di interpiano	Tipo di terminale di erogazione	
Sottosistema di regolazione		Tipo di regolazione Caratteristiche di regolazione	
Sottosistema di distribuzione	Anno di installazione = anno di costruzione edificio N° di piani	Tipo di impianto Anno di installazione	
Sottosistema di generazione		Tipo di generatore F2, F3, F4, F6	F1, F3, F5, F6

Tab.n°6.38, dati di input per il calcolo del fabbisogno per Energia Primaria divisi nei quattro sottosistemi, in funzione del modo in cui può essere inserito nel toolset.

6.3.3 Calcolo del fabbisogno di Energia Primaria per ACS (toolset E)

La specifica tecnica propone per il calcolo standard, ossia ai fini di una CE, una procedura alquanto semplificata che esclude la componente umana dalla determinazione del fabbisogno in favore di una valutazione basata interamente sulla superficie utile dell'unità abitativa.

Il primo passo è il calcolo del fabbisogno netto per ACS utilizzando la seguente (PUNTO 5.2.1.1 DELLA UNI 11300 PARTE 2):

$$Q_{ACS} = \; * c * V_w * (\; _{er} - \; _{O}) * G \qquad [Wh] \qquad (6)$$

= massa volumica dell'acqua [kg/m3]
c = calore specifico dell'acqua pari a 1,162 [Wh/kg °C]
V_w = volume dell'acqua richiesta durante il periodo di calcolo [m3/G]
$_{er}$ temperatura di erogazione [°C], ossia 40°C
$_{O}$ = temperatura di ingresso dell'acqua fredda sanitaria, ossia 15°C [°C]
G = numero dei giorni del periodo di calcolo [G], ossia 365

Dove:

$$V_w = a \times N \text{ u} \qquad [l/G]$$

Con
a è il fabbisogno giornaliero specifico [l/G], nel caso delle abitazione ricavabile dalla tab. n°6.39;
N u è il parametro che dipende dalla destinazione d'uso dell'edificio, nel caso di abitazione coincide con la superficie utile della unità abitativa.

Valori di *a* per le abitazioni (l/Gm^2)

Fabbisogni	Calcolo in base al valore di S_u per unità immobiliare [m^2]			Valore medio riferito a $S_u = 80$ m^2
	≤50	51- 200	>200	
a	1,8	$4{,}514 \times S_u^{-0{,}2356}$	1,3	1,6
Fabbisogno equivalente di energia termica utile [Wh/G m^2]	52,3	$131{,}22 \times S_u^{-0{,}2356}$	37,7	46,7
Fabbisogno equivalente di energia termica utile [kWh/m^2 anno]	19,09	$47{,}9 \times S_u^{-0{,}2356}$	13,8	17,05

Tab. n°6.39, prospetto 12 della UNI 11300 parte 2

Il fabbisogno cosi determinato sarà utilizzato, in maniera simile alla procedura mostrata precedentemente, per il calcolo delle perdite di emissione, distribuzione, accumulo e generazione. Si sottolinea solo che, in caso di calcolo standard e di assenza di impianti centralizzati, si possono usare i prospetti forniti dalla norma (tab. n°6.40 e n°6.41) dai quali ricavare direttamentamente i valori di rendimento medio stagionale. Nel caso di impianti integrati con il riscaldamento il fabbisogno netto per ACS viene aggiunto in generazione nel calcolo dell'Energia Primaria per riscaldamento.

Valori e metodi da adottare per i diversi tipi di valutazioni di calcolo (acqua calda sanitaria)

	Valutazioni di calcolo
	A1 A2 A3
Fabbisogni di acqua calda	Valori da prospetto 12 e da prospetto 13 in tutti i casi.
Erogazione	$\eta_{er} = 0,95$
Distribuzione	Secondo metodi di calcolo analitici (vedere appendice A) salvo il caso di generatori di calore e relative canalizzazioni installati nell'ambiente riscaldato. Le perdite del circuito primario si calcolano secondo il punto 6.9.4.
Accumulo	Si trascurano nel caso di valutazione per intero edificio privo di impianto centralizzato per acqua calda sanitaria (valutazione basata su boiler per unità immobiliare). Qualora sia disponibile il valore della dispersione termica dell'apparecchio dichiarato dal costruttore, le perdite sono calcolate con la formula (31). In tutti gli altri casi calcolo secondo formula (30).
Generazione	Valori del prospetto 31 per gli scaldaacqua. Negli altri casi calcolo con i metodi dell'appendice B.
Rendimento medio globale stagionale	Nel caso di valutazione per intero edificio, privo di impianto centralizzato di acqua calda sanitaria, si assume un valore convenzionale di rendimento medio globale stagionale pari a 0,7.

Tab. n°3.40, prospetto 16 della UNI 11300 parte 2

Rendimenti convenzionali degli scaldaacqua con sorgente interna di calore

Tipo di apparecchio	Versione	Rendimento* istantaneo (%)	Rendimento* stagionale (%)
Generatore a gas di tipo istantaneo per sola produzione di acqua calda sanitaria	Tipo B con pilota permanente	75	45
	Tipo B senza pilota	85	77
	Tipo C senza pilota	88	80
Generatore a gas ad accumulo per sola produzione di acqua calda sanitaria	Tipo B con pilota permanente	75	40
	Tipo B senza pilota	85	72
	Tipo C senza pilota	88	75
Bollitore elettrico ad accumulo	-	95	75**
Bollitori ad accumulo a fuoco diretto	A camera aperta	84	70
	A condensazione	98	90

* I dati di rendimento riportati possono essere utilizzati in mancanza di dati forniti dal costruttore dell'apparecchio.
** Ai fini del calcolo dell'energia primaria, il fabbisogno di energia deve essere considerato tra i fabbisogni elettrici, applicando il relativo fattore di conversione.
Nota I rendimenti forniti dal prospetto tengono già conto, per gli apparecchi ad accumulo, della perdita di accumulo, valutata pari a circa il 10%.

Tab. n°6.41, prospetto 31 della UNI 11300 parte 2

Nella nostra area di studio gli impianti per la produzione centralizzata di ACS, cosi come i sistemi di accumulo esterni al generatore sono pressoché assenti, perciò si sono utilizzati i valori della tab n°6.41 moltiplicati per il rendimento di erogazione di 0,95 assegnando il tipo di generatore in funzione dell'archetipo.

6.3.4 L’approccio semplificato per il Calcolo del fabbisogno di Energia Primaria

In questa sede si propone l’uso di un toolset semplificato (toolset G) che faciliti il confronto tra tecnologie impiantistiche anche molto diverse, spostando l’attenzione solo sui valori di rendimento complessivo minimi e massimi ipotizzabili per l’impianto. Questo approccio, per altro utilizzato in molti altri casi di studio in mancanza di dati riferimento, non aumenta il grado di arbitrarietà delle assunzioni; anzi definendo un campo di variabilità del rendimento della soluzione impiantistica fornisce un risultato indicativo probabilmente più adatto nel caso di uno studio con così ampi gradi di incertezza. il confronto solo sui rendimenti permette di valutare con lo stesso grado di dettaglio tecnologie profondamente differenti focalizzando l’attenzione su altri parametri di interesse per impostare un confronto tra alternative quali: i costi operativi e di costruzione ed eventuali limiti tecnici o normativi.

L’uso del parametro sintetico riferito al range dei rendimenti possibili non deve far pensare necessariamente ad uno studio grossolano della soluzione impiantistica utilizzabile, ma al contrario, poiché lo studio di dettaglio è al di fuori del modello, gli specialisti possono utilizzare liberamente e con precisione le loro competenze per definire i tipi e le configurazioni degli impianti in funzione della tipologia edilizia o per un singolo edificio. Tale impostazione facilita i confronti tra alternative impiantistiche in un contesto decisionale dove esperti e non, si trovano a dover effettuare scelte in base ai pochi parametri di rendimento e costo.

6.3.4.1 L’implementazione del tooset G

Il toolset G è articolato in tre tools: il primo effettua il calcolo della EP invernale e partendo da ciò calcola i consumi di combustibile, l’emissione di CO_2, il costo operativo per riscaldamento; il secondo effettua gli stessi calcoli del primo ma in regime estivo; il terzo determina la Classe Energetica secondo quanto richiesto dalla normativa vigente. Si dovranno dunque strutturare i dati di partenza sulla base di specifici studi tipologici o su assunzioni di carattere più generale: ossia, richiamando quanto già fatto per la determinazione del fabbisogno netto, si definirà una sorta di abaco degli impianti e poi si assegnerà ad ogni archetipo un tipo di impianto.

Campo	**Contenuto**	**Tipo dato**
Soluzione tecnologica per il riscaldamento	Identificativo univoco del Tipo di soluzione tecnologica	string
descrizione	Descrizione sintetica dell’impianto	string
Rendimento stagionale minimo	Rendimento minimo dell’impianto in caso di condizioni di esercizio non ottimali	double
Rendimento stagionale massimo	Rendimento massimo dell’impianto in caso di condizioni di esercizio ottimali	double
Combustibile utilizzato	Codice identificativo del tipo di combustibile utilizzato	string
Costi annuali di manutenzione	Stima dei costi annuali per la manutenzione dell’impianto	double
Inclusione dell’ACS	Un valore 1 se la caldaia include il fabbisogno per ACS o zero se non è incluso	Boolean

Tab. n°6.42 abaco degli impianti per la determinazione della EP

L'abaco degli impianti è collegato tramite il codice identificativo del tipo di combustibile ad un'altra tabella dove sono riportati i valori medi di costo al kWh e di emissione di gas serra per i più frequenti tipi di combustibili utilizzati (tab. n°6.43). In aggiunta a questi è necessario fornire al tool il rendimento medio del parco elettrico nazionale che serve per determinare la CO2 prodotta nel caso di impianti alimentati dal vettore elettrico. I dati riguardo ai combustibili ed il rendimento medio del parco elettrico nazionale sono stati impostati in accordo con quelli utilizzati nel software DOCET per il calcolo dell'EP.

TIPO	COMBUST	EURO_KWH	CO2_KWH
C1	LPG	0,135	0,202
C2	electricity	0,19	0,25
C3	coal	0,077	0,39
C4	Natural Gas	0,068	0,205
C5	oil gas	0,094	0,279
C6	Wood	0,028	0
C7	biomass	0,045	0

Tab. n°6.43, abaco dei combustibili

L'ultimo tool assegna ad ogni edificio la classe della CE applicando la metodologia proposta dalla legge (192/2005 e successive integrazioni) ossia determinando prima l'EP limite in base alle caratteristiche geometriche dell'involucro edilizio ed alla zona climatica, poi assegnando la classe in base al valore del fabbisogno di EP raffrontato con quello limite. In particolate prima si calcola il rapporto tra la superficie disperdente S ed il volume riscaldato V, poi si ricava per interpolazione lineare il valore dell'EP limite utilizzando le tabelle dell'allegato C della legge (tab. n°6.44) e i gradi giorno della località presa in esame. La tabella definisce un valore di fabbisogno limite per metro quadro che dovrà essere soddisfatto per le nuove costruzioni e sarà la base per il calcolo della classificazione energetica.

Attualmente[42] per effettuare la CE è necessario calcolare tre valori caratteristici di ogni edifico, e confrontarli con alcuni limiti definiti in base all'EPl nel caso del riscaldamento e con limiti costanti su tutto il territorio nazionale per l'ACS:

EPi [kWh/mq anno] = fabbisogno di EP per la climatizzazione invernale per mq utile ottenuto dividendo il fabbisogno dell'edificio per la sua superficie utile;

EPacs [kWh/mq anno] = fabbisogno di EP per ACS per mq utile ottenuto dividendo il fabbisogno dell'edificio per la sua superficie utile;

EPgl [kWh/mq anno] = somma di EPi e APacs;

Si avranno così tre etichette di CE: una relativa al riscaldamento, una relativa all'ACS e una globale (fig. n°6.60). E' importante notare che la superficie utile dell'edificio ha un forte peso nella determinazione del valore unitario di fabbisogno al metro quadro; errori anche limitati nella stima della superficie possono portare a variazioni di classe in special modo per gli edifici di migliori prestazioni.

[42] In futuro si dovrà tenere conto anche della climatizzazione estiva e per illuminazione.

Rapporto di forma dell'edificio S/V	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	a 601 GG	a 900 GG	a 901 GG	a 1400 GG	a 1401 GG	a 2100 GG	a 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
≤0,2	10	10	15	15	25	25	40	40	55	55
≥0,9	45	45	60	60	85	85	110	110	145	145

Tab. n°6.44, valori limite di fabbisogno di Energia Primaria (EPl)per climatizzazione invernale per metro quadro di superficie utile dell'edificio espresso in kWh/mq anno (tab 1 allegato C della Legge 192/2005)

Primary Energy Index limit = F(S/V; climate)
Classe Ai+ < 0,25 EPiL (2010)
0,25 EPiL (2010) ≤ Classe Ai < 0,50 EPiL (2010)
0,50 EPiL (2010) ≤ Classe Bi < 0,75 EPiL (2010)
0,75 EPiL (2010) ≤ Classe Ci < 1,00 EPiL (2010)
new building
1,00 EPiL (2010) ≤ Classe Di < 1,25 EPiL (2010)
1,25 EPiL (2010) ≤ Classe Ei < 1,75 EPiL (2010)
1,75 EPiL (2010) ≤ Classe Fi < 2,50EPiL (2010)
Classe Gi ≥ 2,50 EPiL (2010)

Classe Aacs < 9 kWh/m² anno
9 kWh/m² anno ≤ Classe Bacs < 12kWh/m² anno
12 kWh/m² anno ≤ Classe Cacs < 18 kWh/m² anno
18 kWh/m² anno ≤ Classe Dacs < 21 kWh/m² anno
21 kWh/m² anno ≤ Classe Eacs < 24 kWh/m² anno
24 kWh/m² anno ≤ Classe Facs < 30 kWh/m² anno
Classe Gacs ≥ 30 kWh/m² anno

Fig. n°6.60, limiti delle classi di CE per l'energia primaria per la climatizzazione invernale e per ACS

6.3.4.2 Conclusioni: peculiarità e limiti del toolset D

Il tool G è in grado di ricavare alcune delle principali informazioni di primario interesse nel caso di un processo decisionale inerente le FER; ossia è in grado di fornire un parametro di natura ambientale ed uno di natura economica per il raffronto tra alternative diverse.

In particolare lo si userà per definire lo stato attuale del sistema riguardo alle emissioni ed i costi annui da cui partire per ipotizzare cambiamenti al suo equilibrio. Ogni differente configurazione del sistema avrà un costo iniziale e genererà presumibilmente una diminuzione dei costi e delle emissioni di CO2.

Nel seguito di questo studio si analizzeranno alcune ipotesi riferite a caso reale. Qui si vuole porre l'attenzione su come il tool possa agire con semplicità sulla base degli abachi degli impianti e su come la precisione dei risultati dipenda da due fattori interdipendenti: la precisione dei calcoli dei rendimenti degli impianti e la disponibilità di informazioni attendibili.

La determinazione dei rendimenti stagionali minimi e massimi può essere eseguita con i metodi rigorosi disponibili delle rispettive tecnologie impiantistiche in quanto indipendente dalla metodologia RET. Perciò la precisione dei rendimenti dipenderà principalmente dai suoi parametri di input, ossia dai dati che verranno utilizzati per la loro determinazione. A questo punto si pone il problema di effettuare alcune scelte riguardo ai possibili approcci che dipendono essenzialmente dalla quantità e qualità dei dati posseduti: più i dati di input sono semplicistici e discontinui più sarà necessario utilizzare calcoli basati su assunzioni e quantità standard. Se combinando i dati dei data base territoriali disponibili si riuscisse ad ottenere qualche informazione circa l'anno di installazione ed il tipo di impianto di tutte le unità immobiliari, o di un buon numero di esse, si potrebbe utilizzare con profitto un approccio simile a quello proposto anche dalla norma effettuando un calcolo specifico per ogni edificio all'interno dell'ambiente GIS. Ma, allo stato attuale della ricerca, non è possibile arrivare ad uno strato informativo completo; si è scelto perciò di operare con semplificazioni della complessità reale ragionando per tipi.

In questo caso i calcoli dei rendimenti medi stagionali sono effettuati su edifici ideali, sui quali eventualmente possono essere utilizzati approcci rigorosi di calcolo, ma l'assegnazione per tipo dei valori agli edifici reali contiene in sé una forte fonte di errore e di approssimazione: perciò in questa sede si è proposta la definizione dei rendimenti tramite un range di valori. In ogni caso anche disponendo di dati completi e sufficienti al calcolo specifico per ogni edificio in ambiente GIS la metodologia dovrà comunque garantire l'implementazione di fattori comuni di semplice utilizzo per favorire il confronto tra alternative impiantistiche differenti. In quest'ottica l'approccio proposto, spostando le procedure di calcolo più complesse sugli edifici ideali, permette il confronto tra i rendimenti medi stagionali minimi e massimi di qualunque tipo di soluzione impiantistica.

6.4 Conclusioni: standard di riferimento e validazione dei risultati

In questo paragrafo si discuterà riguardo ai punti insoluti nell'implementazione del toolset cercando di focalizzare sui limiti che questi comportano rispetto all'utilizzazione della metodologia in contesto di pianificazione urbana. Abbiamo già evidenziato nei paragrafi precedenti le criticità delle varie fasi del calcolo: alcune di queste derivano da lacune informative, come ad esempio quelli riguardanti le schermature mobili o gli impianti, che potranno essere superate con lo studio di convenienti metodi di acquisizione dei dati; altre dipendono dal tipo di calcolo che richiede la strutturazione di tool più complessi, come nel caso della determinazione della stagione estiva.

Ora si popone una riflessione riguardo la validazione e la precisione dei risultati che il modello può ottenere. Anche considerando di aver colmato le lacune informative dei dati di input, qual è il grado di precisione dei risultati che si deve ricercare e quali procedure si possono ipotizzare per la loro validazione? Un aspetto non trascurabile che limita la capacità di effettuare un'efficace valutazione dei risultati del toolset è la non perfetta conoscenza delle impostazioni del calcolo dello stesso software di confronto DOCET: pur essendo una delle metodologie ufficiali per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici residenziali esistenti, essa ha numerose differenze rispetto alla UNI 11300 utilizzata come riferimento per il calcolo implementato nel RET. Le differenze riguardano principalmente le semplificazioni dei dati di input, quali le condizioni standard delle ostruzioni esterne e le ipotesi dei vano scala, ma vi sono anche diversi parametri nel calcolo come, per esempio, il fatto che non venga considerato il contributo dell'extraflusso. Tali semplificazioni fanno di DOCET un software speditivo che produce risultati fortemente penalizzanti circa le prestazioni dell'edificio; infatti l'esplicito scopo di questa metodologia è fornire un software semplice ed economico per stime di massima che garantiscano un valore conservativo dei consumi allo scopo di favorire la diffusione della Certificazione Energetica nel territorio nazionale (DOCET, Manuale utente). Nel nostro caso la scelta di DOCET era risultata coerente anche perché il grado di dettaglio dei suoi dati di input è molto simile a quelli che sono disponibili a livello urbano: altre metodologie o altri software necessitano di informazioni più precise che non sono disponibili alla vasta scala. Inoltre, DOCET è una metodologia suggerita dalla legge su tutto il territorio nazionale e garantisce risultati compatibili con quanto richiesto in sede di accesso alle politiche incentivanti o per la Certificazione Energetica. Perciò, se da una parte ciò ha permesso di effettuare in maniera molto speditiva tutti i calcoli funzionali al confronto, che altrimenti sarebbero stati molto onerosi in questo percorso di tesi, dall'altra, la scelta quasi forzata del software ufficiale è diventata un limite alla valutazione stessa dei risultati del Toolset. Ne deriva che, per effettuare un efficace lavoro di validazione dei risultati del toolset, sarebbe necessario utilizzare un software differente del quale si conoscessero nel dettaglio le impostazioni ed i calcoli; ma ciò ci porrebbe di fronte ad un'ardua scelta in quanto le differenze tra i diversi software commerciali o le diverse metodologie di calcolo, (CENED, CASA CLIMA, ECODOMUS…) pur mantenendo una sostanziale coerenza con la UNI 11300, sono tutt'altro che trascurabili (BAGGIO, 2008). La questione quindi si sposta su un livello differente:

“*che precisione è accettabile nel caso si stia operando alla scala urbana*?” che ne implica immediatamente un’altra: “*rispetto a quale standard dovrei validare i miei risultati?*”

Una risposta, forse la più sensata, potrebbe essere la validazione dei risultati rispetto ai dati di consumo reale, ma questi spesso si discostano notevolmente da quanto calcolato con procedure analitiche, anche se raffinate con modelli comportamentali, perche, come è ben noto, i consumi reali sono largamente determinati dalla componente umana. In funzione delle abitudini degli abitanti dell’immobile i consumi possono variare anche oltre il 20% (ENTROP 2009) rendendo vano qualunque calcolo di natura prettamente fisico – analitica. In risposta a questa complicazione si assiste ad un fiorire di metodi analitico-statistici per la determinazione ex-ante dei fabbisogni degli edifici (JAFFAL 2009). La stessa norma UNI fornisce coefficienti e parametri per valutare l’influenza del comportamento umano *medio o standard* nei calcoli fisici[43] che in un’ottica cautelativa portano ad una generale sovrastima dei fabbisogno, ossia si rinuncia alla ricerca della massima rispondenza del consumo calcolato con quello reale in favore di un approccio semplice, facilmente riproducibile e verificabile, che quindi assicuri risultati comparabili tra gli edifici anche in diversi contesti e tipi di utilizzo. In altre parole, partendo dal presupposto che i consumi reali dovrebbero essere inferiori a quelli calcolati, se si dovesse registrare altrimenti sarebbe un forte elemento d’allarme circa: il malfunzionamento di qualche impianto o la sua cattiva gestione; la corretta progettazione o realizzazione dell’edificio, oppure circa l’accuratezza stessa dei calcoli svolti (SOCAL 2010). La realizzazione di miglioramenti tecnologici diminuirà il valore del consumo calcolato al di sotto del quale ancora una volta dovranno attestarsi quelli reali; perciò la norma, pur non consentendo una stima reale dei consumi, è uno strumento comune che può essere di indirizzo nella riqualificazione energetica dell’edificio anche se non può prescindere dalla validazione delle previsioni con i dati reali. L’approccio semplificato della norma è perciò funzionale per definire limiti e vincoli di legge quali i requisisti d’accesso alle forme di incentivazione o i limiti di rendimento medio stagionale da soddisfare per l’ottenimento dei permessi di costruire. Se a livello normativo, e quindi nella comune pratica professionale, alla scala del singolo edificio si sono ormai universalmente accettati procedure ed approcci di calcolo fortemente standardizzate, spostando l’attenzione al livello urbano quali possono essere le semplificazioni e le assunzioni accettabili che tengano conto della limitata disponibilità di dati di input e della natura necessariamente tipizzata dei risultati?

[43]Nella norma (UNI 11300 parte 1) si può notare come, tanto nel *calcolo standard* che *nella valutazione adattata all’utenza*, la maggior parte dei fattori per il calcolo del fabbisogno netto dipendono da standardizzazioni di abitudini umane: per la determinazione dei guadagni interni e per le perdite di ventilazione si utilizzano dei coefficienti forniti direttamente dalla norma e nel guadagno solare il peso dei fattore relativo all’uso delle schermature mobili influisce fortemente sul calcolo fisico. L’unico fattore indipendente sembra essere la perdita per trasmissione che però, nel caso degli edifici esistenti, utilizza ampiamente dati desunti da abachi di strutture tipiche: ossia anche per il calcolo delle perdite di calore per trasmissione si effettuano assunzioni basate su osservazioni di tipo statistico questa volta però riferite alle strutture. Invece per la determinazione del rendimento stagionale (UNI 11300 parte 2) si considereranno ancora una volta settaggi standard basati su abitudini dell’utente medio.

Passando alla scala urbana i comportamenti individuali diventano trend misurabili, ossia si possono definire comportamenti medi basati su dati reali anche con uno specifico riferimento spaziale; su questo assunto si basa una gran varietà di approcci statistici che legano i dati reali di consumo alle caratteristiche del patrimonio edificato tramite relazioni di tipo inferenziale. Questi sono in grado di ottenere precise previsioni dei consumi ma spesso falliscono qualora si cerchi di valutare ex-ante l'effetto delle nuove tecnologie (ROBINSON, 2007; GIRARDIN. 2009). D'altra parte i modelli di tipo fisico-analitico, pur essendo capaci per loro natura di esplicitare gli effetti delle nuove tecnologie, non considerando il fattore umano, o utilizzandone una versione troppo standardizzata, ottengono inevitabilmente risultati parecchio discordanti con la realtà (GIRARDIN. 2009). Pur esistendo parecchi approcci ibridi che tentano di sfruttare i vantaggi dei modelli analitici e di quelli statistici (Shimoda, 2007; GIRARDIN. 2009; Robinson, 2009) è evidente che ognuno di questi sia strutturato in modo da esplicitare aspetti specifici del fenomeno tralasciandone altri e che perciò sia complicato allo stato attuale definire a priori quale sia lo standard nel caso di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici alla scala urbana, o meglio che la precisione e il tipo dei risultati dipendono fortemente dall'uso che se ne vuole fare. Ad esempio nel caso l'obiettivo sia definire con precisione il carico orario dei consumi per la progettazione di nuovi impianti di quartiere o urbani sarà opportuno partire dai dati sui consumi reali (L. Girardin 2009) mentre per cercare di dare informazioni circa l'applicabilità di una nuova soluzione tecnologica nel patrimonio residenziale sarà necessario partire dalle caratteristiche fisiche degli edifici stessi (S. Gadsden, M. Rylatt 2001).

Portando quindi l'attenzione sull'uso per il quale si è proposta la nostra metodologia, ci pare doveroso ricordare come il calcolo dei fabbisogni e dei consumi sia solo un mezzo per strutturare una conoscenza condivisa in un processo decisionale inerente le trasformazioni urbane. Se anche si fosse in grado di calcolare con precisione assoluta i consumi e i fabbisogni di ogni edificio sarebbe comunque poi necessario definirne classi e tipizzazioni per esplicitare i processi che governano il fenomeno in maniera fruibile in un contesto decisionale. Parallelamente a quanto accade per molte altre tematiche inerenti il territorio, la complessità del fenomeno verrebbe comunque rappresentata tramite semplificazioni e affermazioni di carattere mediato al fine di favorire il confronto e le proposte nel contesto partecipativo. A tal fine perciò non è strettamente necessario minimizzare le differenze tra i fabbisogni ed i consumi calcolati e quelli reali, quanto invece strutturare un modello capace di dare una rappresentazione coerente e facilmente comunicabile dei processi e delle caratteristiche del patrimonio edificato che siano di interesse nel processo decisionale. Inoltre, il calcolo a vasta scala introduce necessariamente una serie di semplificazioni dei dati input, basate su ragionamenti a carattere tipologico o assunzioni statistiche, che generano esse stesse delle differenze sia rispetto ad un calcolo eseguito per il singolo edificio con metodologie analitiche standard, che ancor più rispetto ai dati reali. Infatti, alla scala urbana, può apparire esagerato lo stress su modelli comportamentali o calcoli dinamici particolarmente raffinati, che necessitano di una gran quantità di dati di

input e di laboriose attività di calibrazione, quando ad esempio il tipo di strutture edilizie o di impianti viene assegnato agli edifici in base all'anno di costruzione o per tipologia edilizia[44].

In questa sede non si vuole sostenere che, poiché non si è attualmente in grado di ottenere per via analitica risultati con alti gradi di rappresentatività del fenomeno reale, il modello possa slegarsi completamente da una validazione e una verifica. Anzi la struttura stessa del toolset proposto punta ad ottenere dei risultati quanto più coerenti possibile con la normativa nazionale che regola l'accesso alle politiche incentivanti e l'attività edilizia in modo da facilitare l'interazione tra le conoscenze specialistiche riferite al singolo immobile e le assunzioni effettuabili ad ampia scala. Infatti l'impostazione di una corretta e più completa validazione dei risultati di RET è uno dei punti principali per il proseguo di questo studio che dovrà vertere su alcuni aspetti principali: confronto con i risultati del calcolo standard eseguito su edifici ideali; confronto con i risultati di un calcolo standard eseguito su edifici reali; confronto comparato tra RET e metodologie standard con i dati reali.

Il confronto con le metodologie standard non potrà essere effettuato correttamente se non impostando edifici ideali che rendano comparabili i dati di input e le condizioni di calcolo delle due metodologie. In questa sede ciò è stato fatto con sufficiente precisione per quanto riguarda la determinazione del parametro angolare rappresentante le ostruzioni esterne, ma già per la determinazione dei guadagni solari ci si è scontrati con alcune difficoltà derivanti dalla non perfetta conoscenza dell'impostazione del calcolo della metodologia di controllo. Sarebbe perciò opportuno conoscere a fondo le impostazioni di DOCET, o di qualunque altro software venga utilizzato per il controllo, oppure impostare un foglio di calcolo che permetta di eseguire il calcolo standard degli edifici in maniera speditiva. Il confronto con l'utilizzo di edifici ideali evidenzierà fino a che punto RET è in grado di soddisfare i requisiti della norma in un caso ideale di perfetta corrispondenza delle condizioni di calcolo. Inoltre utilizzando casi ideali, dove condizioni di calcolo possono essere fatte variare in maniera controllata, possiamo provare se il Toolset sia in grado di fornire risultati coerenti con quelli della metodologia ufficiale in tutte le condizioni di calcolo.

Una volta effettuato il confronto con i casi ideali, è necessario valutare la differenza tra le previsioni di RET e quelle del calcolo secondo norma redatto su un edificio reale. Ossia, mentre precedentemente le fonti di errore risiedevano principalmente nelle impostazioni di calcolo di RET, adesso si aggiungerà anche la non perfetta corrispondenza dei dati di input. Si dovranno cioè confrontare i risultati di RET con una serie di edifici di controllo per il quale è stato eseguito il calcolo standard in maniera rigorosa ricavando i dati di input dall'osservazione diretta. Questo tipo di prova non è stata svolta in questa tesi in quanto sarebbe stato necessario reperire una gran quantità di dati per un numero ingente di edifici. Inoltre con ogni probabilità il software DOCET non è il più adatto a svolgere tale confronto in quanto adotta per alcuni fattori semplificazioni che sono anche maggiori di quelle del toolset. Per esempio le condizioni del contesto utilizzate da DOCET sono fortemente standardizzate, mentre RET è in grado di valutarle in maniera più

[44] Ci si riferisce a quanto già esposto riguardo a City-Sym (D.Robinson 2009).

fedele sia alla realtà che al calcolo impostato secondo la norma. Questo confronto mostrerà la differenza tra quanto calcolato dal toolset ed il risultato di un calcolo correntemente sviluppato nella pratica professionale per soddisfare i requisiti di legge. Infatti il massimo dettaglio di informazione che una amministrazione può pensare di avere riguardo alle prestazioni di un edificio è ciò che può essere dedotto dalle Certificazioni Energetiche o dalle pratiche per il rilascio della concessione edilizia che effettuano i calcoli secondo la UNI 11300. Pertanto i risultati di RET dovranno essere quanto più possibile compatibili con il calcolo ufficiale al fine di permettere la calibrazione e l'aggiornamento del modello di rappresentazione.

Infine, seppure lo scopo del toolset non sia principalmente la determinazione dei consumi, un confronto con dati anche aggregati riguardo ai consumi permetterebbe di avere la misura di quanto il modello sia realmente rappresentativo dei processi reali in ordine alle tendenze in atto e alle principali criticità. Inoltre, ricordando la forte influenza della componente umana, quando si considera un ampio ambito territoriale conoscere tendenze medie riguardanti le abitudini dei residenti può essere di aiuto per non cadere in macroscopici errori di valutazione anche nella formulazione di politiche incentivanti o vincoli all'attività edilizia.

Pur essendo consci che il toolset dovrà essere ampiamente implementato per rispondere alle molte questioni ancora aperte e dovrà essere testato in maniera più completa in modo da validarne i risultati, si ritiene che sia già capace di mostrare le sue potenzialità in un'applicazione ad un contesto reale. Naturalmente i risultati che scaturiranno da tale applicazione, essendo basati su tipizzazioni ed assunzioni svolte in maniera piuttosto speditiva, avranno ampi margini di miglioramento circa la rispondenza a quanto ottenibile con un calcolo secondo norma e circa l'effettiva rappresentatività dei fenomeni reali. Tuttavia è importate che si dimostrino funzionali a valutare come il RET possa essere utilizzato in processi di formazione di politiche urbane inerenti la questione energetica.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

D. Robinson , N. Campbell, W. Gaiser, K. Kabel, A. Le-Mouel, N. Morel, J. Page, S. Stankovic, A. Stone; *SUNtool – A new modelling paradigm for simulating and optimising urban sustainability*; Solar Energy 81 (2007) 1196–1211.

Robinson, D., Haldi, F., Kämpf, J., Leroux, P., Perez, D., Rasheed, A., Wilke, U., *City- Sim: Comprehensive micro-simulation of resource flows for sustainable urban planning*, Proc. Eleventh Int. IBPSA Conf: Building Simulation 2009, Glasgow, UK.

Stuart Gadsden, Mark Rylatt , Kevin Lomas; *Putting solar energy on the urban map: a new GIS-based approach for dwellings;* Solar Energy 74 (2003) 397–407

Mark Rylatt , Stuart Gadsden, Kevin Lomas; *Putting solar energy on the urban map: A GIS-based decision support for solar energy planning in urban environment;* Computer Environment and Urban System 25 (2001) 579-603.

Luc Girardin, François Marechal, Matthias Dubuis, Nicole Calame-Darbellay, Daniel Favrat; *EnerGis: A geographical information based system for the evaluation of integrated energy conversion systems in urban areas*; Energy (2009) in stampa

Yoshiyuki Shimoda, Takahiro Asahi, Ayako Taniguchi, Minoru Mizuno; Evaluation *of city-scale impact of residential energy conservation measures using the detailed end-use simulation model*; Energy 32 (2007) 1617–1633

Y. Yamaguchi, Y. Shimoda, M. Mizuno; *Proposal of a modeling approach considering urban form for evaluation of city level energy management*; Energy and Buildings 39 (2007) 580–592

Lukas G. Swan, V.Ismet Urgursal, *Modeling of end use Energy consumption in the residential sector: A review of modelling techniques*, Renewable & Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 1819-1835

Issa Jaffal, Christian Inard, Christian Ghiaus*; Fast method to predict building heating demand based on the design of experiments*; Energy and Buildings 41 (2009) 669–677

A.G. Entrop, H.J.H. Brouwers, A.H.M.E. Reinders (2009); Evaluation of energy performance indicators and financial aspects of Energy saving techniques in residential real estate; Energy and Buildings (2009) articolo in stampa

Laurent Socal (2010); La firma energetica; periodico NEO EUBIOS n°33, TEP.srl Milano 2011, 7-13

R. Perez, P. Ineichen, E.-L. Maxwell, R.-D. Seals, A. Zelenka (1992). *Dynamic global to Direct Irradiance Conversion Models.* ASHRAE Transactions, Vol. 98, Part I nr. 3578

Hay, J., 1979. *Calculation of monthly mean solar radiation for horizontal and inclined surfaces*. Solar Energy 23, 301.

Jensen, S.O., 1994. *Validation of building energy simulation programs*. Final Report, PASSYS Model Validation Subgroup, EUR 15115 EN (European Commission).

Temps, R.C., Coulson, K.L., 1977. *Solar radiation incident on slopes of different orientation*. Solar Energy 19 (2), 179–184.

Perez, R., Ineichen, P., Seals, R., Michalsky, J., Stewart, R., 1990. *Modelling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance*. Solar Energy 44 (5), 271–289.

Robinson, D., Stone, A. (2004), Solar radiation modelling in the urban context, Solar Energy, (77)3, p295-309.

Klucher, T.M., 1979. *Evaluation of models to predict insolation on tilted surfaces*. Solar Energy 23 (2), 111–114.

Muneer, T., 1997. *Solar Radiation and Daylight Models for the Energy Efficient Design of Buildings*. Architectural Press, London.

P. Baggio, F. Cappelletti, A. Gasparella, P. Romagnoni (2008), *Il calcolo della prestazione energetica degli edifici. Gli esiti di un confronto*; Convegno AICARR: Riduzione dei fabbisogni, recupero di efficienza e fonti rinnovabili per il risparmio energetico nel settore residenziale, Rubano (PD), Giugno 2008

Vincenzo Corrado, Enrico Fabrizio (2009); *Il significato del fattore di utilizzazione nel calcolo semplificato del fabbisogno termico degli edifici: aspetti teorici e applicativi*; convegno AICARR: Certificazione energetica: normative e modelli di calcolo per il sistema edificio-impianto posti a confronto; napoli, 16 gennaio 2009, ore 9,00/17,00

Domenico Coiante, Le nuove fonti di energia rinnovabile, Franco Angeli, Milano 2006

Manuali e norme

UNI EN ISO 13790:2008
UNI/TS 11300-1, 2, 3,
UNI 10349
UNI 8477/1
DOCET, Software di Diagnosi e Certificazione Energetica di Edifici Residenziali Esistenti, MANUALE UTENTE, ITC-CNR ENEA, www.docet.itc.cnr.it

Capitolo 7

Metodologia: definizione degli scenari

7.1 Processo di definizione di uno scenario di trasformazione

Nei capitoli precedenti si sono descritti le fasi e gli strumenti adottati per la definizione dello Stato di Attuale che non è solo un insieme di parametri: grazie al toolbox realizzato siamo in grado di variare artificialmente alcune condizioni del sistema e calcolarne i cambiamenti rispetto allo stato iniziale. In altre parole si possono ipotizzare scenari di miglioramento delle caratteristiche termiche degli involucri, o dell'efficienza degli impianti e valutarne gli effetti in termini di fabbisogno di combustibile, di CO2 prodotta e di costi di gestione. Lo strumento fornisce risultati con una precisa distribuzione spaziale permettendo letture incrociate con altri tematismi territoriali, che a loro volta possono diventare parametri importanti per la definizione dei possibili miglioramenti tecnici e per la valutazione degli stessi. Si delinea così un processo iterativo per la definizione di politiche urbane che è basato sulla valutazione comparata tra diverse ipotesi di miglioramento tecnologico e che può essere esemplificato in sette fasi concettuali (fig n°7.1). Queste pongono al centro del processo lo strumento GIS sviluppato ad hoc. In questo capitolo si spiegheranno con più dettaglio le fasi del processo[1], che saranno inquadrate in un discorso generale in quanto, per ogni tecnologia, si dovranno utilizzare dati e metodologie differenti. La definizione di metodologie e procedure standard per la valutazione della fattibilità delle nuove tecnologie alla scala urbana è un campo di ricerca ancora aperto che di fatto si pone come naturale prosecuzione di quello affrontato in questo lavoro. Nel caso di studio si svilupperanno due esempi: uno relativo al miglioramento tecnologico dell'involucro edilizio, quale l'isolamento delle pareti, e l'altro relativo all'uso di impianti di produzione da FER, quali i pannelli solari termici e fotovoltaici.

[1] Si parlerà di ipotesi o alternative progettuali riferendosi alle singole tecnologie per il risparmio energetico o la produzione da FER, mente lo scenario sarà costituito da un mix di ipotesi progettuali.

Nuova ipotesi di miglioramento tecnologico

Miglioramento tecnologico
Prestazione dell'involucro
Efficienza degli impianti
Nuove teconologie da FER 1

DATI
Dati di input per il dimensionamento
Dati di output del dimensionamento
Vincoli normativi
Vincoli tecnici
Costo di investimento
Costo operativo
Politiche di supporto esistenti

Processo iterativo
Implementare il modello
Ambiente GIS

Madellizzazione GIS delle ipotesi progettuali:
Livello territoriale
Livello dell'archetipo
Livello dell'edifcio 2

Filtro con vincoli tecnici e normativi 3
Implementare altri valori o criteri di valutazione
NO
Valutazione degli impatti 4

Output: Grafici e Mappe

Definizione della Politica 7
Comparazione tra le ipotesi di progettuali 5
Identificazione dei fattori critici 6
Altri dati territoriali
YES

Fig. n°7.1, schema del processo di formazione degli scenari, in blu i dati di input, in rosso le parti sviluppate all'interno del GIS

7.2 Definizione dei possibili miglioramenti tecnici (fase 1)

La prima fase consiste nella selezione e nello studio delle ipotesi di miglioramento tecnico da inserire nel modello tra tutte quelle disponibili sul mercato. Essendo l'insieme di queste tecnologie particolarmente variegato, una valutazione completa è impossibile, per tempi e costi. Per effettuare una preliminare selezione sarà necessario avvalersi del contributo del sapere tecnico esperto degli operatori del settore edile e delle energie rinnovabili al fine di individuare alcune tecnologie mature, o innovative, con un accettabile rapporto prestazione/prezzo. L'elemento fondamentale sul quale si basa questa preliminare selezione sono gli archetipi definiti come base per la definizione dello stato di attuale. In linea di massima ogni archetipo può accedere solo ad un gruppo limitato di soluzioni tecniche che un esperto del settore può facilmente individuare. Per le soluzioni applicabili sarà quindi necessario individuare i fattori che ne condizionano l'efficienza ed i costi di realizzazione: si dovranno identificare le variabili necessarie al dimensionamento di massima ed alla valutazione economica dell'investimento. In base a questi parametri in questa fase si potranno studiare le soluzioni tecniche più adeguate per i diversi archetipi, che verranno

poi applicate ad ogni specifico edificio tramite il software GIS. Lo studio per archetipo permette infatti di spostare in questa fase l'attenzione su un edificio ideale dove, per i progettisti, è più semplice ragionare col dettaglio adeguato riguardo alle soluzioni tecniche adottabili, siano esse consolidate e di larga diffusione che di natura più sperimentale.

In questa sede si è scelto di utilizzare tecnologie largamente diffuse e consolidate: al fine di semplificare lo studio delle stesse in rapporto alla tipologia edilizia considerata; si porrà invece l'accento sulle fasi logiche del metodo, lasciando ad altro lavoro l'approfondimento sulle soluzioni tecniche ipotizzabili per tipologia. Si propone quindi una scheda funzionale allo studio delle soluzioni tecniche utile per raccogliere i parametri che saranno necessari alla successiva parametrizzazione delle ipotesi tecniche:

Nome e funzione della tecnologia

Dati di input per il dimensionamento: le informazioni da utilizzare per il dimensionamento preliminare della tecnologia selezionata e la fonte da cui possono essere desunte. Per esempio il dimensionamento di un impianto fotovoltaico dipende dalla caratteristiche di insolazione della superficie, dal tipo di pannello scelto e dalla superficie a disposizione.

Dati prestazionali preliminari: generalmente, per tutte le tecnologie, esistono delle procedure altamente semplificate per il dimensionamento e la relativa stima della efficienza che vengono utilizzate per valutarne preliminarmente la fattibilità economica e tecnica senza dare inizio al vero e proprio processo di progettazione, troppo oneroso nel caso l'intervento non fosse fattibile. Per esempio, moltiplicando l'irraggiamento solare sulla superficie disponibile per il rendimento medio di una data tipologia di impianti PV si ottiene l'energia elettrica prodotta in base alla quale calcolare il tempo di ritorno dell'impianto ed il grado di copertura dei consumi.

Costo di realizzazione: alcune tecnologie hanno ormai acquisito nel mercato costi parametrici standard largamente condivisi (ad esempio il costo al kWp degli impianti PV); altri costi sono desumibili anche con una definizione preliminare dell'intervento perché le lavorazioni sono facilmente riconoscibili e riproponibili nei casi simili (per esempio i lavori edili); infine esistono numerose pubblicazioni di prezziari che contengono anche voci a corpo particolarmente sintetiche che permettono di valutare speditamente i prezzi di lavorazioni di complessità maggiore, senza entrare nei dettagli di un computo metrico esecutivo, che in questo caso potrebbe essere particolarmente oneroso (per esempio, la realizzazione di impianti condominiali di riscaldamento/raffrescamento). Nel caso da noi sviluppato si utilizzerà per i lavori edili più semplici il Prezziario dei Lavori Pubblici della Regione Sardegna integrato da alcuni prezzi medi di mercato; per le lavorazioni più complesse si farà riferimento a pubblicazioni con prezzi parametrici.

Costo di gestione: tutti gli impianti hanno un costo di gestione generato dalla manutenzione ordinaria e straordinaria programmata e dagli eventuali costi di combustibile; tale costo è fondamentale per valutare correttamente il tempo di ritorno dell'investimento.

Vita utile: ogni tipo di elemento realizzato ha una sua vita utile, ossia il periodo di tempo nel quale si considera che possa adempiere la funzione per il quale è stato realizzato con adeguata efficienza. La prima valutazione di opportunità economica di un intervento è avere un tempo di ritorno dell'investimento minore della vita utile. Tale concetto può essere poi trasferito anche in chiave sostenibile, confrontando la quantità di CO_2 che il sistema contribuisce a risparmiare con quella utilizzata per la sua realizzazione ed il suo esercizio, o in chiave prettamente energetica [2]. Nel caso da noi sviluppato ci si riferirà solo ad una valutazione di tipo economico, ma l'introduzione degli altri aspetti nella metodologia non presenta difficoltà, se non quella di definire per ogni tecnologia la CO_2 e l'energia necessaria alla costruzione; tale aspetto naturalmente costituisce un campo di ricerca a se stante di particolare interesse che vede numerosi contributi in letteratura. In ogni caso il toolbox permette di calcolare la diminuzione di CO_2 e l'energia prodotta per un dato periodo di anni in modo da fornire anche indicatori di natura ambientale su cui basare il confronto tra alternative.

Limiti normativi: si intende l'esplicitazione di alcune norme che impediscono completamente, o condizionano fortemente, l'utilizzo di una data tecnologia quand'anche questa sia tecnicamente fattibile (ad esempio vincoli paesaggistici). Tale elemento è importate per selezionare gli edifici su cui poter applicare il metodo ed è poi fondamentale in sede di definizione delle politiche, per poter ipotizzare modifiche dello stesso vincolo al fine di favorire la diffusione della tecnologia.

Limiti tecnici: sono i limiti tecnico-economici dipendenti dalla configurazione dell'edificio preso in considerazione che rendono non più possibile o accettabile l'utilizzo di una data tecnologia. Ad esempio, la realizzazione di un impianto PV su un tetto, anche ben esposto, di un edificio multilivello con un gran numero di unità abitative, non può garantire il soddisfacimento di una quota accettabile dei consumi a tutti i condomini ed il fabbisogno per le parti comuni è generalmente molto limitato per rendere economicamente vantaggioso l'impianto. Oppure l'utilizzo di una caldaia condominiale a biomassa è vincolato dalla disponibilità nell'edificio di un locale per lo stoccaggio del combustibile.

Limiti gestionali: alcune tecnologie possono generare difficoltà gestionali che non sempre sono superabili e che spesso non sono facilmente prevedibili in fase di definizione delle politiche. Mentre gli aspetti di natura tecnica ed economica possono essere analizzati a priori con strumenti analitici, questi aspetti, legati più ad al fattore umano, si possono solo esplicitare in modo che il decisore ne tenga conto in fase di definizione della politica. Ad esempio, anche se teoricamente non vi sono limiti tecnici o normativi all'installazione di pannelli solari al servizio di tutto il condominio nella copertura dell'ultimo piano, tale installazione deve ottenere il benestare di tutti i condomini e ciò non sempre è scontato. Specie se l'ultimo piano è di utilizzo esclusivo di un solo condomino (come nel caso dei piani attici), è facile che egli si opponga alla realizzazione dell'impianto per non sopportare i disagi può causargli come: garantire l'accesso

[2] Ci si riferisce agli indicatori Greenhouse gas Pay Back Time (GPBT) e Energy Pay Back TIme (EPBT) proposti in numerose pubblicazioni e studi nazionali ed internazionali

per la manutenzione periodica, possibili infiltrazioni d'acqua meteorica per l'accidentale danneggiamento del manto impermeabile durante l'installazione, o il semplice disagio estetico. Questo parametro non genera veri e propri output nel calcolo dei tempi di ritorno o nel potenziale di produzione di un impianto, ma è importante conoscere la diffusione e l'importanza di questi limiti per impostare politiche e mirate al contesto su cui opera e quindi più efficaci.

Incentivi: molte tecnologie godono di un regime di incentivazione nazionale e in taluni casi anche regionale o comunale. Gli incentivi possono avere la forma di sgravi fiscali, contributi in conto capitale o essere basati sulla effettiva produzione dell'impianto come per il fotovoltaico e l'eolico. Tale parametro è fondamentale in sede di valutazione economica del tempo di ritorno o dei costi iniziali dell'investimento. L'incentivo è poi il principale strumento del planner per la definizione di una politica efficace. Il toolset sviluppato permetterà di valutare anche l'effetto che gli incentivi possono avere sulla fattibilità economica degli interventi per ogni edificio.

7.3 GIS modelling (fase 2)

Questa fase consiste nell'implementazione delle nuove tecnologie nell'ambiente GIS. Le relazioni da considerare sono quelle necessarie ad effettuare una valutazione preliminare della fattibilità tecnica ed economica della tecnologia, già esplicitate nella fase 1. Si partirà inserendo i *Dati di input per il dimensionamento* e poi si utilizzeranno gli strumenti GIS per effettuare le valutazioni. Non sempre i dati di input saranno direttamente disponibili nel formato e con la definizione utile ad impostare uno studio della fattibilità con lo stesso dettaglio che solitamente viene usato per il singolo edificio, sarà quindi, eventualmente, necessario rivedere le metodologie in modo che tengano conto della scala urbana dello studio. L'operazione dovrà essere svolta in collaborazione con gli esperti in maniera da non effettuare una semplificazione che produca risultati privi di informazione. In questa sede non possiamo esplorare tutti i casi relativi alle diverse tecnologie disponibili, però si proverà a focalizzare sui possibili approcci che si hanno a disposizione portando anche due esempi esemplificativi.

La struttura stessa dello stato di fatto suggerisce che esistono almeno tre diversi approcci percorribili per la definizione degli scenari riferiti alle nuove tecnologie:

a) la tecnologia può essere modellizzata a *livello territoriale,* ossia l'implementazione della tecnologia parte da considerazioni effettuate sull'ambito urbano, o su una parte di esso, e poi produce effetti nel calcolo della prestazione energetica del singolo edificio. In questo caso si farà principalmente ricorso alle capacità di analisi spaziale che lo strumento GIS offre senza riferirsi, almeno nella fase iniziale, allo *Stato Attuale* sviluppato da RET. In altre parole la tecnologia viene introdotta in ambiente GIS con tool e metodologie separate da RET e poi dialogherà, attraverso relazioni di tipo spaziale o valoriale, con lo *Stato Attuale* generando gli scenari. In questo tipo si simulazioni ricadono generalmente le fonti rinnovabili, perche sono legate alle caratteristiche dell'area

indipendenti dal patrimonio edificato quali l'irraggiamento solare o il regime dei venti. In seguito si proporrà uno scenario relativo ai pannelli solari fotovoltaici e per Acqua Calda Sanitaria.

b) I dati di base di RET, strutturati in Archetipi e abachi delle strutture, danno la possibilità di cambiare o implementare direttamente le caratteristiche di questi ultimi al fine di simulare scenari legati all'involucro o agli impianti. Questo tipo di modellizzazione, che si è chiamata a "*livello di archetipo",* è una possibilità offerta direttamente dallo *Stato Attuale* e rappresenta uno dei maggiori punti forza della strutturazione di un toolbox modulare perché è possibile, con relativa facilità, cambiare i parametri del calcolo senza doverlo ripetere completamente. La presenza di un data base di archetipi legato alle caratteristiche delle strutture edilizie e degli impianti permette di studiare le soluzioni tecnologie su edifici ideali per poi generalizzarne facilmente i risultati mantenendo precisi riferimenti spaziali. I parametri su cui si può intervenire sono praticamente tutti quelli coinvolti nella definizione dello Stato Attuale, ossia quelli che prendono parte al calcolo della UNI 11300. In un contesto urbano consolidato, però, molti sono da ritenersi pressoché costanti; di seguito si propone un elenco di quelli che potrebbero essere oggetto di variazione e quindi destinatari di una politica.

Schermature solari fisse: si tratta dei parametri angolari, contenuti nella definizione di Archetipo, utili alla definizione dell'ombreggiatura sugli elementi verticali (Fov ed Ffin punto 14.4 UNI 11300 -1). Sono elementi di forte importanza nel calcolo del fabbisogno netto invernale, ma soprattutto estivo, in quanto schermature solari fisse ben progettate per la difesa dal surriscaldamento estivo possono influire fortemente sul fabbisogno netto per raffrescamento.

Tipo di schermature solari mobili: tale parametro è necessario per la valutazione dell'influenza delle schermature mobili (formula 24, UNI 11300-1) e consiste nella trasmittanza di energia solare della finestra quando la schermatura è utilizzata. Le schermature mobili possono influire di più del 20% sulla determinazione dei guadagni solari sono perciò un elemento di primaria importanza della determinazione dei fabbisogni netti soprattutto in regime estivo.

Miglioramento delle prestazioni dell'involucro: si tratta essenzialmente del parametro di trasmittanza U contenuto negli abachi delle strutture edilizie (coperture, basamenti, chiusure verticali opache e trasparenti). Gli abachi contengono anche il parametro relativo alla stima forfettaria dell'influenza dei ponti termici (prospetto 4, UNI 11300 -1), ma il calcolo della trasmittanza, partendo dalle caratteristiche termo-fisiche dei materiali che compongono gli strati della chiusura, dovrà essere eseguito al di fuori di RET.

Miglioramento dell'efficienza degli impianti: abbiamo già discusso in altra sede circa la scelta di utilizzare un solo parametro di efficienza complessiva per gli impianti, siano essi per il riscaldamento che per il raffrescamento. Questo tipo di valutazione, che a prima vista può sembrare semplicistica, in realtà da la grande libertà di poter progettare la soluzione impiantistica

più adeguata su un edificio ideale sul quale non ci sono tutti i limiti che una modellizzazione a scala urbana potrebbe comportare. Gli esperti sono quindi liberi di pensare soluzioni, anche piuttosto elaborate, delle quali dovranno sintetizzare sia l'efficienza complessiva che parametri atti a valutarne i costi e la fattibilità tecnico-normativa.

c) L'ultimo approccio è quello teoricamente più semplice, ossia la variazione dello stato attuale inserendo un fattore di cambiamento su un gruppo di edifici selezionati manualmente. Questo può essere necessario se la struttura ad archetipo non permette la precisione necessaria o quando non siano disponibili tool adeguati ad implementare, in ambiente GIS, un determinato scenario. Oppure questo potrebbe essere il metodo più semplice per inserire uno scenario di riqualificazione urbana nello *Stato Attuale*, dove i corpi di fabbrica vengono totalmente sostituiti.

7.4 Operazioni di filtro (fase 3)

Questa fase e quella precedente non sono in una stretta successione temporale; infatti la selezione per vincoli tecnici o normativi fa parte dell'implementazione della tecnologia in ambiente GIS. Nei dati di partenza che caratterizzano la tecnologia dovrebbero essere esplicitati questi aspetti in modo da poter effettuare un'operazione di filtro preliminare delle ipotesi possibili, e da limitare il numero di edifici su cui svolgere la valutazione prima di effettuarla.

Alcune ipotesi, per quanto tecnicamente possibili, per contenere i tempi del processo decisionale, possono essere scartate a priori se, per esempio, sono gravate da vincoli normativi che di fatto ne permettono l'applicazione ad un numero molto ridotto di edifici: questo può accadere, ad esempio, nel caso dei pannelli solari in zone tutelate da vincolo paesaggistico. Oppure alcune ipotesi possono essere vincolate a caratteristiche specifiche degli edifici (quali il tipo di muratura, il tipo di tetto o altro) che ne limitano di fatto l'applicabilità su una larga parte del patrimonio edificato.

Il filtro può essere eseguito sia con interrogazioni di tipo spaziale che sugli attributi assegnati agli oggetti dello stato di fatto, ossia gli edifici. Anche in questo caso si ha la possibilità di agire a diversi livelli grazie alla struttura ad archetipi che permette di accedere a tutte le caratteristiche che definiscono le prestazioni termiche dell'edifico e che instaurano una relazione tra il data base delle tipologie e la distribuzione spaziale delle stesse.

7.5 Valutazione delle ipotesi (fase 4)

Le tecnologie possono avere parametri prestazionali differenti non sempre direttamente confrontabili: alcune producono energia, altre ne fanno risparmiare diminuendo i fabbisogni netti oppure aumentando l'efficienza del sistema. In ogni caso, pur non trascurando completamente le analisi specifiche per ogni tecnologia, il confronto tra diverse ipotesi progettuali e quindi la "valutazione" dovrà essere effettuata su una serie di parametri comuni decisi precedentemente. Tali parametri derivano da un accordo preliminare

tra gli attori che hanno esplicitato i criteri su cui effettuare la scelta in maniera specifica per ogni processo decisionale. Anche se, come già discusso precedentemente, si possono identificare una serie di valori che saranno sicuramente condivisi tra tutti gli attori, quali quelli economici ed ambientali, l'esatta definizione degli indicatori può differire non poco a seconda del contesto in cui ci si trovi ad effettuare la scelta.
RET non può provvedere al calcolo di tutti gli indicatori che possono essere richiesti dagli stakeholders, ma provvede a fornire i dati principali in base dei quali questi si possono sintetizzare: il costo dell'investimento e quello annuale operativo, la CO2 prodotta in un anno, il combustibile consumato, il fabbisogno netto e di Energia Primaria annuo.
Grazie alla struttura aperta del toolset si possono ricavare facilmente i dati per ottenere altre informazioni più di dettaglio quali, i consumi mensili, le dispersioni attraverso i diversi elementi dell'involucro, i valori mensili dell'irraggiamento solare e quant'altro possa essere ritenuto utile in sede di valutazione. Inoltre il carattere spaziale dell'informazione permette di impostare letture incrociate con altri dati territoriali non necessariamente inerenti il contesto del risparmio energetico o della produzione da FER.
Un punto fondamentale, per una corretta valutazione tra alternative progettuali, è la definizione della ipotesi di non progetto, che deriva direttamente dallo *Stato Attuale*: nel caso di una valutazione economica, si tratta essenzialmente dei costi di gestione degli edifici e nel caso di una valutazione ambientale, si riferirà principalmente alla produzione di GAS serra.
Però una analisi più approfondita dello *Stato Attuale* potrebbe, in qualche modo, ampliare questi concetti, considerando nella ipotesi di non progetto i costi relativi alla manutenzione straordinaria programmata, ossia i costi di quegli interventi che sono prevedibili in un arco di tempo che rientri nella vita utile dei principali elementi costituenti un edificio: cioè l'involucro e gli impianti. Ad esempio dalla semplice osservazione esterna dell'edificio si può definire se il paramento murario avrà necessità in tempi brevi (5-10 anni) di manutenzione o no: questo aspetto può essere un fattore chiave nel caso di politiche riguardanti l'isolamento termico dell'edifico. Un discorso simile può essere fatto naturalmente sugli impianti, soprattutto per quanto riguarda le caldaie e le pompe di calore che hanno una vita utile inferiore a quella delle strutture murarie, ma in questo caso non abbiamo dati utili e l'ottenimento degli stessi non è immediato.
Nella valutazione dell'impatto ambientale di un'ipotesi si possono, come già accennato, inserire nel conto anche le emissioni inerenti la realizzazione delle opere considerandone così il loro GPBT. Senza andare troppo nello specifico, perché si tratterebbe di un vero e proprio argomento di tesi, si vuole solo sottolineare che il Toolset provvede al calcolo di alcuni valori di uso comune in questo tipo di valutazioni; tuttavia è facilmente implementabile con nuovi valori ed indicatori che possono essere ritenuti necessari in sede di definizione dello Stato Attuale o di valutazione degli scenari. Inoltre il formato shp, proprio degli strumenti GIS, che naturalmente RET utilizza, permette una facile esportazione nei più comuni formati di foglio di calcolo, più adatti all'analisi dei dati ed alla produzione di grafici.

Per il caso di studio, vengono proposti alcuni indicatori comunemente in uso per la valutazione economica degli investimenti inerenti il risparmio energetico e di produzione da FER (tab. n°7.1)

Criterio/valore	Indicatore	Note
economico	Costo investimento/superficie utile [euro/mq]	Utile per confrontare il costo di una ipotesi progettuale in maniera uniforme tra diversi edifici
	Costo investimento/n° unità [euro]	Utile a capire l'entità dell'impegno finanziario per una singola famiglia, spesso il primo fattore critico di qualunque investimento.
	Costo operativo/superficie utile [euro/mq]	Utile per confrontare il costo operativo di ipotesi progettuale in maniera uniforme tra diversi edifici
	Costo operativo annuo/n° unità [euro]	Utile a capire l'entità dei risparmi annui per una singola famiglia rispetto al non progetto; spesso uno degli elementi che spinge all'investimento.
	Tempo di ritorno investimento per edificio	Considerando i risparmi per il minor consumo energetico, i flussi di cassa delle politiche di supporto e naturalmente la spesa iniziale si calcola il tempo di ritorno rispetto al non progetto.
	VAN per edificio	Identifica con immediatezza se in un dato periodo l'investimento genererà dei guadagni che ripagheranno la spesa iniziale oppure no.
Ambientale	CO2 totale annua prodotta [kgCO2]	Valore caratteristico dell'edifico che misura la quantità totale delle emissioni per riscaldamento, utile per confrontare le diverse alternative progettuali nel loro impatto cumulativo sull'ambiente.
	CO2 totale annua/ superficie utile [kgCO2/mq]	Valore caratteristico dell'edifico che misura la quantità unitaria delle emissioni per riscaldamento, utile per confrontare l'efficacia delle diverse ipotesi progettuali
	$(CO2_{post} – CO2_{pre})/ CO2_{pre}$ per edificio [kgCO2]	Utile per confrontare diverse ipotesi progettuali
	$(CO2_{post} – CO2_{pre})$/ superficie utile [kgCO2/mq]	Utile per confrontare diverse ipotesi progettuali
Ambientale e economico	$(CO2_{post} – CO2_{pre})$/costo intervento [kgCO2/Euro]	Utile per confrontare diverse ipotesi progettuale in base al costo della unità di emissione risparmiata

Tab. n°7.1, indicatori per la valutazione tra tecnologie alternative

7.6 Identificazione dei fattori critici (fase 5-6)

Dal confronto tra le ipotesi progettuale e quella di non progetto si possono, in primo luogo, eliminare le soluzioni che presentano indicatori peggiori ed identificare quelle che presentano i migliori, in maniera differenziata per archetipo (fase 5): questo darà la possibilità di definire scenari specifici per le diverse parte di città. Ma non solo, la limitazione all'uso di una tecnologia, sia essa normativa che di natura tecnico-economica può esplicitare alcuni fattori chiave sui quali si può intervenire per migliorarne l'efficacia (fase 6).

Questi fattori possono essere:

di natura prettamente tecnica, e quindi si provvederà a cambiare la soluzione tecnologica in modo da aumentarne l'efficienza, diminuirne i costi o facilitarne la diffusione;

di natura prettamente economica, e quindi si cercheranno modalità per ridurre il peso dell'investimento sulla categoria più debole con politiche di supporto economico diretto o volte ad abbattere i costi;

di natura prettamente normativa, per cui si cercherà di modificare la normativa vigente al fine di indirizzare e facilitare lo sviluppo dei miglioramenti tecnologici.

A questi si possono aggiungere i limiti gestionali, ossia quei fattori che, pur non essendo direttamente vincolanti rispetto all'applicazione della tecnologia, ne influenzano fortemente la diffusione; in questo caso la politica cercherà di intervenire con azioni di supporto e di educazione volte a ridurne l'influenza.
Il processo anche in questo caso è di natura iterativa: si comincerà da un mix di ipotesi tecnologiche, quindi, grazie al confronto tra le diverse ipotesi progettuali ed il costante apporto del sapere esperto, alcune di queste verranno scartate ed altre modificate. Si proporranno politiche, sia volte a fornire sostegno finanziario, che alla rimozione di vincoli normativi e si effettuerà nuovamente la valutazione delle ipotesi progettuali. Le modifiche introdotte possono comportare variazioni soltanto nella fase di valutazione (fase 5), oppure richiedere l'inserimento o la variazione di alcuni parametri utilizzati nella implementazione della tecnologia in ambiente GIS (fasi 2-3-4). Eseguendo in maniera iterativa il processo si arriverà ad uno scenario condiviso dagli attori del processo che, in maniera differenziata per tipologia edilizia, possa specificare le azioni nelle diverse parti di città. Inoltre la valutazione dei costi degli investimenti permette anche una stima dell'eventuale impegno finanziario della pubblica amministrazione per incentivi o attività di supporto.

7.7 Conclusioni: una prospettiva di ricerca

Con questo capitolo non si vuole dare risposta compiuta all'argomento, ma si cerca di aprire le porte ad apporti successivi riguardo alle metodologie per costruire scenari basati sull'uso di tecnologie per il risparmio energetico e la produzione da FER. Lo strumento GIS da una parte permette l'interazione con i numerosi tematismi che costituiscono la conoscenza sottesa ad un processo di piano e, dall'altra, fornisce una serie di strumenti capaci di trasformare e gestire questi dati in maniera proficua per il processo decisionale.
Per quanto si disponga di una gran quantità di soluzioni tecnologiche, queste possono classificarsi per grandi gruppi di caratteristiche simili per le quali si possono studiare metodologie adatte alla valutazione del loro potenziale in ambito urbano. Nel caso di studio si presenteranno due ipotesi tecnologiche volte più che altro a mostrare la flessibilità dello strumento RET, lasciando ad un'altra sede lo studio sistematico di tutti i possibili tipi di tecnologie e delle metodologie più adatte per la valutazione dei loro effetti sullo Stato Attuale.
Un altro aspetto di primario interesse è l'effettiva definizione della politica che dovrà da una parte essere coerente con i regolamenti tecnici comunali e la normativa sovraordinata (pianificazione paesaggistica e di settore) e dall'altra prevedere efficaci strumenti per l'attuazione del programma. La metodologia proposta ed i tool sviluppati facilitano la formazione del consenso, individuando uno scenario condiviso, e contribuiscono ad indirizzare il disegno delle politiche, esplicitando i fattori critici che limitano la diffusione delle diverse tecnologie, ma non si sostituiscono al planner ed ai decisori nella predisposizione delle azioni e delle misure del piano. La definizione delle metodologie e degli strumenti per l'attuazione di politiche

finalizzate al miglioramento della efficienza energetica del patrimonio edificato verrà lasciata ad un successivo approfondimento in quanto costituisce un campo di ricerca a se stante al quale in questa tesi non può essere dato giusto spazio.

Capitolo 8
Applicazione: Definizione dello Stato Attuale

Sebbene alcuni algoritmi di calcolo non siano completati e nonostante sia ancora necessario impostare una corretta validazione dei risultati con un completo studio di sensitività della metodologia, al fine di mostrare le potenzialità di RET, si è ritenuto importante provare il toolset in un ambito reale.
E' bene premettere che i risultati di questa applicazione dovranno essere considerati più nel loro aspetto qualitativo che non quantitativo. Al di là dell'effettiva precisione e attendibilità dei risultati numerici, si discuterà circa le possibilità che questi possono aprire nel campo della gestione dei processi di trasformazione della città. In questo capitolo ci si riferirà alle fasi per la definizione dello stato di fatto già presentate nel framework della metodologia, ma l'apporto degli esperti sarà sostituito da uno studio locale delle tipologie edilizie basato su alcuni sopralluoghi e sullo studio dei dati territoriali disponibili. Perciò, alle eventuali imprecisioni generate dalla non perfetta calibrazione del modello, si aggiungeranno le semplificazioni e le assunzioni generate da uno studio necessariamente speditivo del contesto. Pur tenendo conto che questi fattori ne impediscono l'immediato utilizzo in un contesto decisionale reale, si ritiene che, a fini esemplificativi della metodologia, ed in virtù della natura qualitativa dei risultati attesi, sia possibile applicare lo strumento approntato ad un contesto reale. Infatti, lo scopo dello *Stato Attuale* non è tanto calcolare nel dettaglio i fabbisogni netti e di Energia Primaria di ogni edificio dell'area, quanto leggere, da un sistema complesso fatto di particolarità, le caratteristiche ed i processi che possano strutturare la conoscenza condivisa del processo decisionale. Così, utilizzando il RET, con i settaggi proposti in questo stesso lavoro, si definirà uno stato di fatto verosimile dal quale esplicitare le caratteristiche utili per la formulazione di politiche, piani e programmi finalizzati al miglioramento dell'efficienza energetica del patrimonio edificato residenziale.
Basandosi sulla metodologia già presentata, prima si descriverà l'area di studio tramite l'utilizzo delle informazioni di base disponibili, successivamente si presenteranno i dati di input inseriti in RET, ossia gli archetipi e gli abachi delle strutture, ed infine si mostrerà il vero e proprio *Stato Attuale*, ossia il quadro conoscitivo che grazie al toolbox si è riusciti ad ottenere.

8.1 Descrizione dell'area di studio

La scelta dell'area di studio doveva essere fatta in modo da testare le capacità del toolbox di riconoscere le diverse geometrie e tipologie edilizie, anche in un caso reale complesso, ma anche tenendo conto del bagaglio di conoscenze già possedute in modo da sfruttarle in luogo dell'apporto degli esperti. Perciò la scelta si è rivolta verso la città di Cagliari, ambito su cui si possiede un'ampia documentazione, all'interno della quale, basandosi sui dati ISTAT, si è selezionato, un'area ad alta densità abitativa che presentasse una

sufficiente varietà di tipologie edilizie realizzate in diverse epoche di costruzione (fig. n°8.1). L'area scelta ricade principalmente all'interno del quartiere di S. Benedetto che, con i suoi 8142 abitanti (ISTAT 2001), costituisce poco meno del 5% della popolazione cagliaritana e mostra densità abitative tra le più alte della città (fig. n°8.2, tab. n°8.2). Oltre l'80% degli edifici presenti nell'area di studio sono realizzati tra il primo decennio del novecento e gli anni cinquanta (tab. n°8.1) e mostrano disomogeneità tipologiche facilmente riconoscibili anche con rapidi sopralluoghi o l'uso di cartografia in rete (BIng Maps). Nello stesso isolato possiamo trovare edifici di uno, due livelli realizzati nei primi anni del novecento accanto a palazzotti in muratura portante degli anni quaranta o palazzi in CA dei primi anni sessanta (fig. n°8.1). Nonostante non sia inserita nel centro storico, rispetto al dato medio cittadino l'area è caratterizzata da una rilevante presenza di edifici piuttosto vetusti che sicuramente presentano pessime prestazioni energetiche e che in buona parte necessiteranno di opere di rinnovamento delle strutture e degli impianti (tab. n°8.1). La presenza di edifici realizzati dopo il settanta è assolutamente marginale, anche se, a circa dieci anni dal censimento ISTAT, ci potrebbero essere stati interventi di sostituzione. In realtà, nell'area Il fenomeno è abbastanza marginale, in luogo di più diffuse opere di ristrutturazione delle quali però ora non abbiamo evidenza nei dati[1].

L'area di studio è divisa in due parti: la prima presenta una forte concentrazione di piccoli edifici ed è caratterizzata da una complessità maggiore delle geometrie; la seconda ha caratteri più omogenei riguardo alle tipologie presenti. Lo scopo della scelta di un'area che presenta tale articolazione è impostare un confronto tra edifici caratterizzati da materiali ed anni di costruzione simili, ma differenti tipologicamente. In altre parole si cercherà di esplicitare il peso del fattore di forma sulle dispersioni attraverso l'involucro o i guadagni solari.

Nel Piano Urbanistico Comunale l'area di studio è prevalentemente classificata come *Zona omogenea B confermata o ridefinita* (fig.n°8.3): viene regolamentata come una parte ormai storicamente consolidata di città che però non presenta quella unitarietà e quel pregio architettonico caratterizzante il centro storico. Perciò in questa area, in linea di massima, sono possibili interventi sino alla demolizione e ricostruzione edilizia seppur nel rispetto di stretti parametri di forma e di allineamento.

La carta di base utilizzata come input del toolbox è stata ricavata da uno stralcio del foglio 18, Comune di Cagliari del NCEU, mentre per la Context Map si è utilizzato un layer informativo georeferenziato disponibile nel Sistema Informativo Territoriale della Regione Sardegna[2] riportante le coperture degli edifici

---

[1] L'amministrazione comunale possiede un data base informatico delle pratiche edilizie dove sono conservate, per ogni unità immobiliare, la data ed il tipo di intervento (manutenzione straordinaria, opere interne, ristrutturazione). L'informazione può essere usata per definire con precisione quali edifici ed in quale periodo siano stati sottoposti a ristrutturazione in modo da effettuare una tipizzazione in archetipi più rispondente alla realtà. Attualmente non si è ancora riuscito ad avere accesso a tali informazioni.

[2] www.regionesardegna.it

con la loro quota sul livello del mare (fig. n°8.4). Per entrambe le carte di input si è ricavata la quota di base degli edifici da un DEM a 25m realizzato a partire dalle quote di livello della cartografia tecnica regionale.

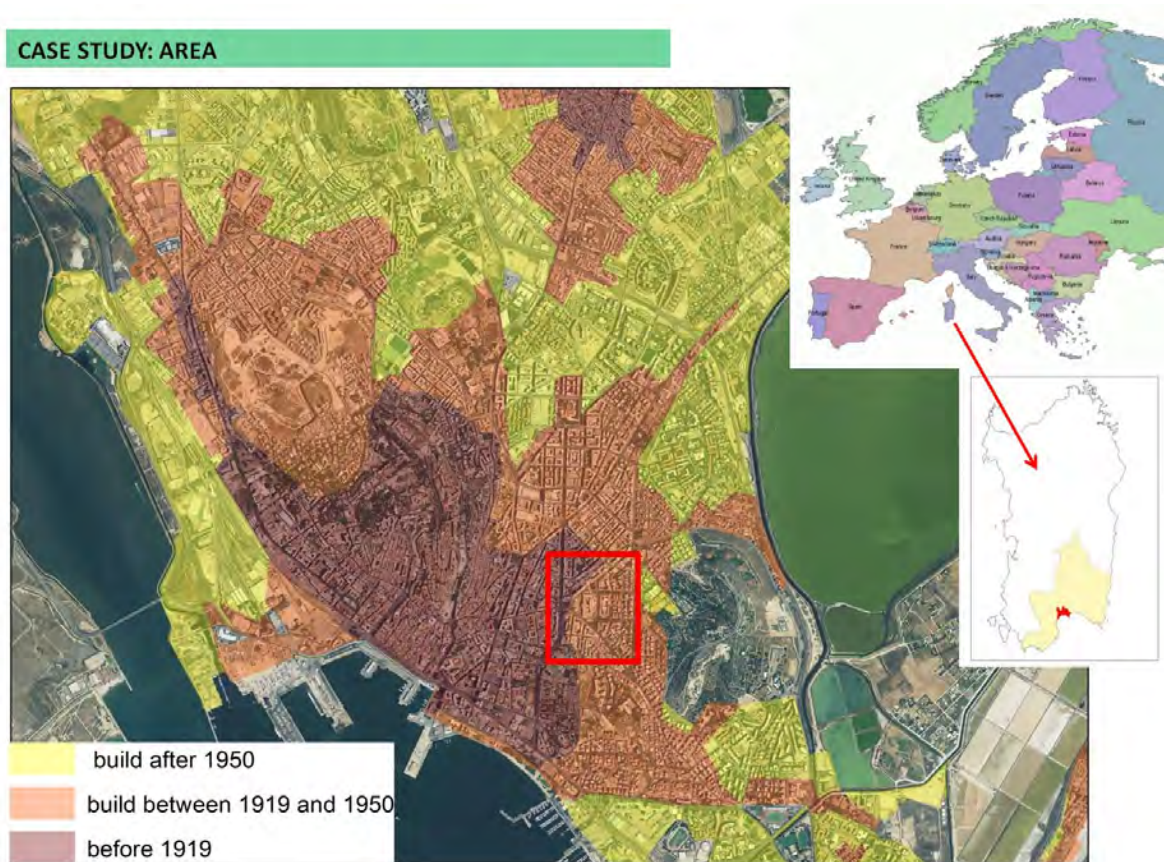
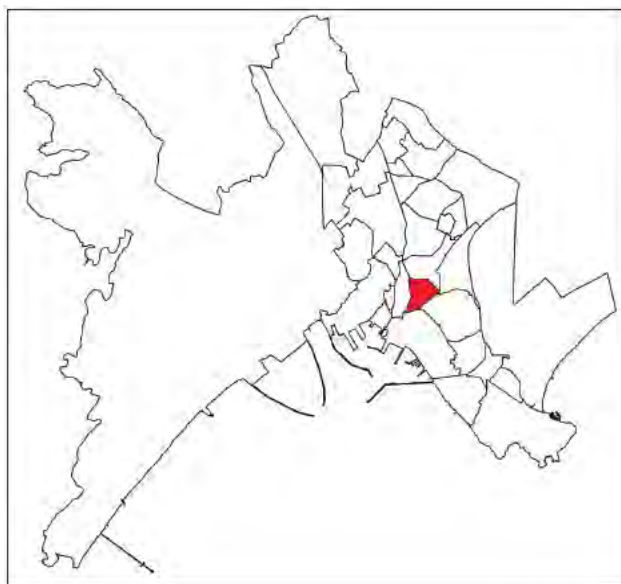



Fig. n°8.1 individuazione dell'area di studio, l'ortofoto è stata fornita dalla RAS (2006), i tematismi con gli anni di costruzione degli edifici sono tratti dai Layer tematici del Piano Paesaggistico Regionale

Anno di costruzione	**Area del caso di studio [%]**	**Cagliari [%]**	**Italia [%]**
Prima del 1919	*1,8*	12,5	19,2
tra il 1919 e il 1945	*40,7*	13,2	12,3
tra il 1946 e il 1961	*40,7*	23,6	14,8
Tra il 1962 e il 1971	*12,4*	19,6	17,5
Tra il 1972 e il 1981	*1,8*	14,8	17,7
tra il 1982 e il 1991	*1,8*	11,4	11,5
dopo il 1991	*0,9*	4,9	7,1
In buono stato di conservazione	***79,0***	76,7	77,4
Costruiti prima della entrata in vigore della normativa per il risparmio energetico	**99,1**	95,1	93,0
Edifici provvisti di impianto di riscaldamento	**49,6**	76,0	94,4
Edifici con impianti centralizzati	**24,8**		

Tab. n°8.1 alcuni dati caratteristici dell'area di studio (elaborato dalle sezioni censuarie ISTAT 2001)

Popolazione residente totale Cagliari 164249 (ISTAT 2001)	
Dati del quartiere di S.Benedetto	
Maschi	3505
Femmine	4637
Totale	8142
Densità per Kmq	9084
Famiglie	3483
Abitazioni	4109
Edifici	539

Tab. 8.2 alcuni dati del quartiere di S.Benedetto

Fig. n°8.2, individuazione del quartiere di S. Benedetto nella mappa dei quartieri della città

Fig. n°8.3, stralcio del PUC della città di Cagliari con la zonizzazione dell'area di studio

1

2

Base Map

Context Map

Meters
0 35 70 140 210 280

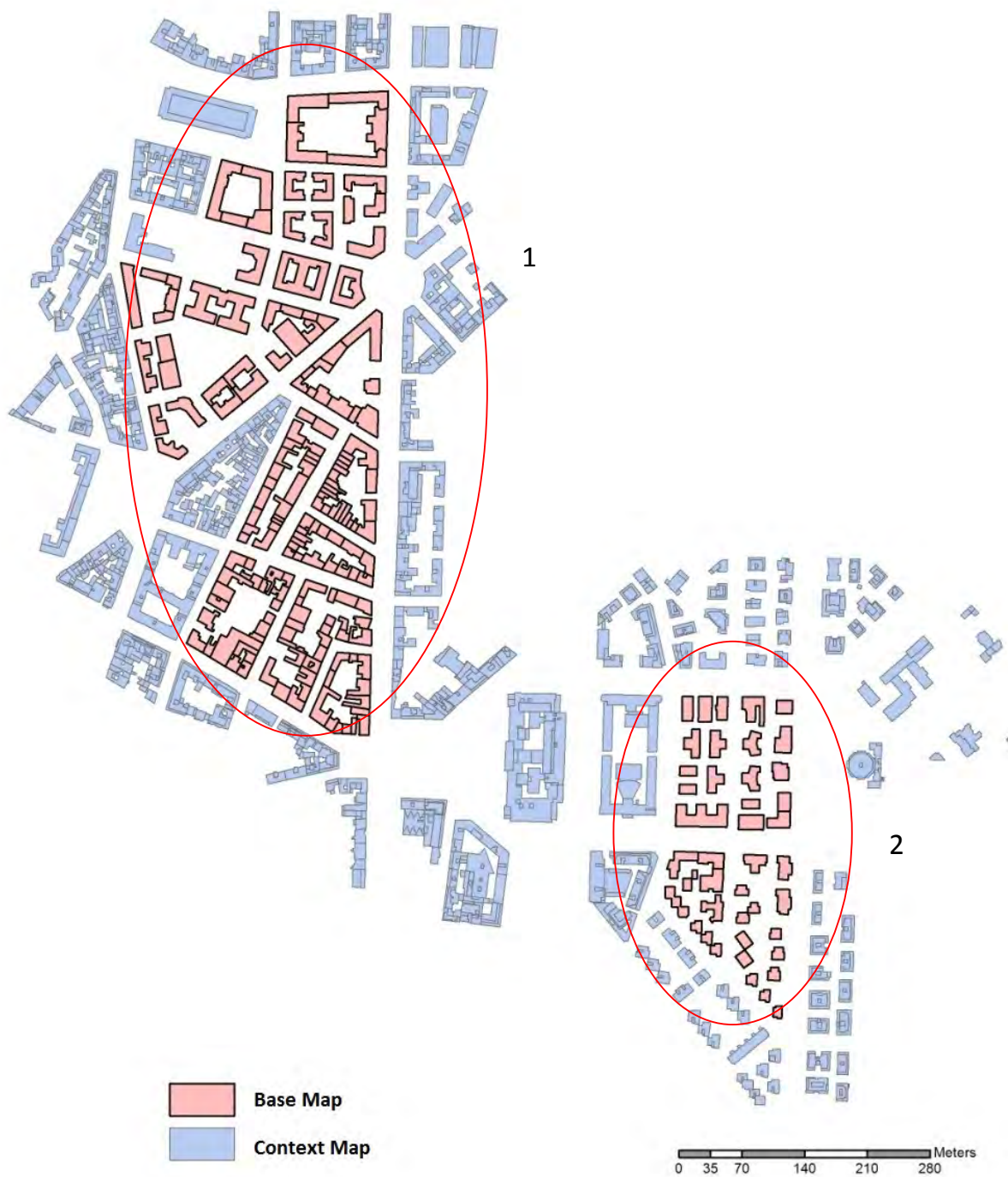



Fig. n°8.4, Contex Map e Base Map, la prima è una rielaborazione di uno stralcio della Mappa Urbana catastale (foglio 18 del NCEU comune di Cagliari), mentre la seconda è un tematismo presente dal data base Regionale.

8.2 Definizione degli archetipi, degli abachi delle strutture e degli impianti

In questa sede non si riprenderà quanto già ampiamente discusso sulle ipotesi generali della metodologia e sui dati di input della stessa, si prenderanno solamente alcuni aspetti principali al fine di semplificare la lettura stessa dello stato di fatto.

L'unità base del metodo di calcolo è l'edificio cosi come individuato dai poligoni riportanti il perimetro esterno degli edifici nella cartografia catastale. I poligoni sono stati verificati con l'osservazione delle ortofoto e delle immagini aeree disponibili in rete al fine di individuare eventuali errori della cartografia catastale. Nell'area di studio, costituita da poco più di 250 edifici, non è stato infrequente dover intervenire manualmente sui poligoni catastali soprattutto nelle parti retrostanti degli edifici generalmente caratterizzate da geometrie più complesse e dalla presenza di tettoie e locali non residenziali. Nell'approntamento della carta di base, anche in un piccolo contesto come quello preso in esame, ci si è scontrati col fatto che i perimetri dei poligoni presenti nella mappa catastale spesso non rappresentano il limite esterno del volume adibito a residenza, a volte ricomprendono autorimesse, locali commerciali, depositi ed altri volumi che possono estendersi in maniera differente rispetto al principale corpo dell'edificio adibito a residenza. Questo problema, comunque, può essere facilmente superato disponendo della cartografia dettagliata, ciò spesso accade per i centri urbani o, nella peggiore delle ipotesi, verificando i poligoni con le immagini aree disponibili.

Poiché le impostazioni di calcolo implementate nel toolbox riguardano solo le unità immobiliari utilizzate per la residenza, si sono eliminati dal volume riscaldato i livelli dell'edificio che ad una osservazione esterna sono risultati utilizzati a fini non residenziali tenendo conto se tali fini dessero luogo ad una zona confinate riscaldata o no. Cioè se nel piano terra dell'edificio sono presenti attività commerciali, cosa per altro molto comune nell'area di studio, il volume relativo viene eliminato dal calcolo dei fabbisogni e la zona termica viene considerata a contatto di un volume riscaldato.

I dati di input della metodologia sono principalmente riassumibili in tre gruppi: *gli archetipi; gli abachi delle strutture e gli abachi degli impianti*.

I primi sono stati definiti in base a sopralluoghi ed ai dati ISTAT disponibili con la precisione della sezione censuaria. Il censimento ISTAT del 2001 fornisce molti dati utili per definire la qualità dell'edificato[3] che, grazie al fatto che la sezione censuaria corrisponde all'isolato (fig. n°8.5), è facile riconoscere negli edifici che la compongono. Se, anche la sezione censuaria riporta il dato in maniera aggregata per tutti gli edifici che la compongono, un osservatore esperto può facilmente riconoscerne l'edificio di provenienza.

[3]Il censimento ISTAT (2001) riporta molte informazioni utili allo studio delle caratteristiche del patrimonio edificato tra le quali: tipo di struttura portante (muratura portante o telaio CA); periodo di costruzione, presenza di riscaldamento, presenza di impianto di ACS, riscaldamento centralizzato o autonomo; numero di piani, numero di interni, superficie utile, abitazioni occupate, abitazioni vuote. La prossima edizione del Censimento della Popolazione e delle Abitazion,i che sarà datata 2011, riporterà anche delle informazioni riguardo il tipo di impianti presenti ed il combustibile utilizzato per riscaldamento ed ACS.

Nell'area di studio, pur se circa l'80% degli edifici è stato costruito tra il 1919 ed i 1960, sono rappresentati tutti gli intervalli del censimento ISTAT ed anche oltre: perciò si sono approntati gli archetipi a partire dagli intervalli temporali proposti dal censimento implementati con le date di entrata in vigore delle leggi sul risparmio energetico negli edifici (tab n°8.3).

Periodi utilizzati dal censimento ISTAT	**Legislazione per il risparmio energetico in edilizia**	**intervalli temporali adottati**
Prima del 1919	assente	Prima del 1919
tra il 1919 e il 1945	assente	tra il 1919 e il 1945
tra il 1946 e il 1961	assente	tra il 1946 e il 1961
Tra il 1962 e il 1971	assente	Tra il 1962 e il 1971
Tra il 1972 e il 1981	Legge n°373/1976	Tra il 1972 e il 1981
tra il 1982 e il 1991	Legge n°373/1976	tra il 1982 e il 1991
dopo il 1991	Legge n°10/1991	tra 1991 e il 2005
	D. LGS. 192/2005	Dopo il 2005

Tab. n°8.3 intervalli temporali adottati nello studio

Precisamente si sono definiti 11 archetipi (tab. n°8.4), in quanto per alcuni intervalli se ne sono trovati più di uno. Nell'intervallo di tempo dal 1919 al 1945 si trovano edifici riconducibili a due tipologie: l'archetipo 2 costituito da edifici di uno-due livelli caratterizzato da lotti particolarmente stretti che probabilmente conservano l'impianto originale ottocentesco; l'archetipo 3 costituito da edifici che possono variare da 2 a 5 livelli, con affacci su strada più larghi, probabilmente realizzati in una prima attività di espansione della città negli anni 30-40. Poi si sono definiti gli archetipi 9 ed 11 all'interno di un intervallo temporale contrassegnato con una R che sta a significare che si tratta di edifici più antichi (di tipologia 3) ristrutturati successivamente al periodo di riferimento; questi archetipi sono stati definiti per classificare alcuni edifici che durante il sopralluogo hanno mostrato segni evidenti di ristrutturazione più o meno recente. Naturalmente in mancanza di una fonte ufficiale di dati questo dato è fortemente arbitrario, ma si è voluto comunque mostrare come la metodologia possa trattare senza difficoltà anche questi casi.

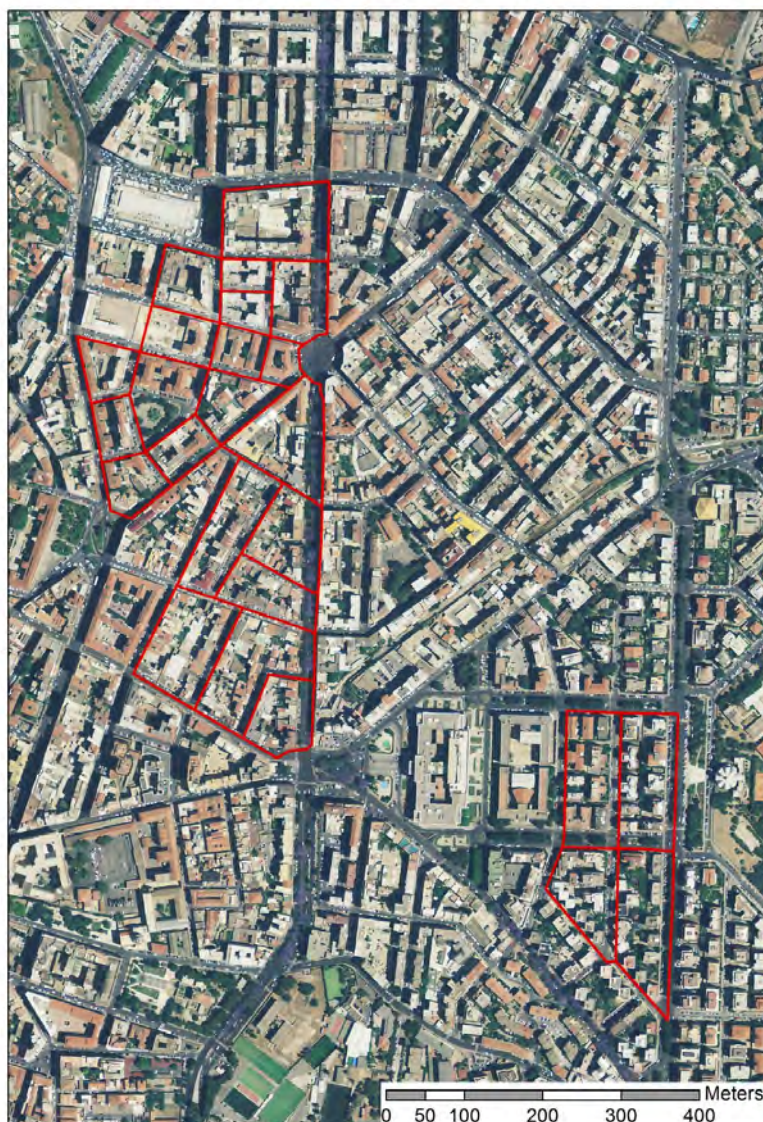



Fig. n°8.5, ortofoto RAS (2006) con i limiti delle sezioni censuarie ISTAT dell'area di studio

age of bui	average fl	sec glaze	MainGlazeR	archetip	Stairs	Stairs bx	Fin angle	Fov angl	Cm
before 1919	3,8	0	0,19	1	8	0,4	0	0	20
1919_45	3,8	0	0,19	2	8	0,4	0	0	21
1919_45	4	0	0,14	3	8	0,4	0	0	21
1946_61	3,9	0	0,14	4	14	0,4	0	0	21
1962_71	3,15	0,01	0,21	5	14	0,6	15	15	19
1972_81	3	0,05	0,22	6	14	0,6	15	30	19
1982_91	3	0,05	0,22	7	14	0,6	15	30	19
1992_2005	2,7	0,08	0,24	8	14	0,6	15	30	19
1992_2005R	3,8	0	0,14	9	8	0,4	0	0	19
after_2005	2,7	0,08	0,24	10	14	0,6	15	30	19
after_2005R	3,8	0	0,14	11	8	0,4	0	0	19

Tab n°8.4, tabella di input dei dati degli archetipi. Nell'ordine: periodo di costruzione, altezza media dell'interpiano, grazing ratio delle facciate secondarie, glazing ratio delle facciate principali, archetipo, perimetro del vano scala, tipo di vano scala, angolo di ostruzione per aggetti verticali, angolo di ostruzione per aggetti orizzontali, Capacita termica unitaria.

Per la definizione degli abachi delle strutture ci si è riferiti ampiamente a quelle proposte dalla norma ed utilizzate da DOCET[4]; però nel caso delle chiusure verticali opache si sono potute verificare in loco alcuni elementi ricorrenti che sono stati inserite nell'abaco delle murature (tab.n°8.5). In particolare fino al 1945 si sono utilizzate murature in blocchi lapidei poi, per un breve periodo particolarmente rappresentato nella nostra area, si sono utilizzate strutture miste in CA e muratura a blocchi. Dagli anni settanta fino praticamente all'entrata in vigore della legge 192 si assiste all'uso di muratura a cassa vuota in strutture a telaio in CA con o senza isolamento. Per quanto riguarda le chiusure trasparenti se ne è ipotizzata l'assenza nelle coperture, e per quanto riguarda le prestazioni si sono inserite quelle più probabili a seconda dell'anno di costruzione dell'edificio (tab. n°8.6). Nell'area il processo di sostituzione delle vecchie finestre a vetro singolo con le più moderne a taglio termico è in atto già da anni. Valutare con il semplice esame visivo il tipo di infisso presente non è certamente possibile ma probabilmente, il Data base ENEA, che conserva i dati delle pratiche di richiesta di detrazione fiscale riferite alla sostituzione degli infissi, potrebbe fornire il dato con l'accuratezza e la completezza necessari.

name	age of bui	tipe	U	descrizion	heatbridge	thick	Emittance	Uwall
wall_1	before 1919	wall	1,02	Muratura in pietrame ed altro materiale sciolto, con molta malta di calce	0,05	0,7	0,9	1,07205
wall_2	1919_45	wall	1,50	Muratura in Blocchi	0,05	0,6	0,9	1,5771
wall_3	1946_61	wall	1,50	Muratura in blocchi, e struttura in CA	0,07	0,6	0,9	1,60714
wall_4	1962_71	wall	0,98	Struttura CA, e muratura cassa vuota	0,1	0,45	0,9	1,0868
wall_5	1972_81	wall	0,76	Struttura CA, e muratura cassa vuota con isolante sciolto degradato	0,2	0,35	0,9	0,912
wall_6	1982_91	wall	0,76	Struttura CA, e muratura cassa vuota con isolante (3cm)	0,2	0,25	0,9	0,912
wall_7	1992_2005	wall	0,62	Struttura CA, e muratura intercapedine con isolante (3-5 cm)	0,2	0,25	0,9	0,74
wall_8	after_2005	wall	0,57	U definita per legge a seconda della zona termica	0,1	0,3	0,9	0,57
wall_9	1992_2005R	wall	1	Muratura portante con presenza di capotto termico interno o esterno (3cm)	0,05	0,75	0,9	0,9
wall_10	after_2005R	wall	0,57	Muratura portante con capotto termico interno o esterno (5cm)	0,05	0,8	0,9	0,57

Tab. n°8.5 abaco delle chiusure verticali opache esterne. Nell'ordine: codice univoco, periodo di costruzione, tipo di elemento costruttivo, trasmittanza, descrizione, incidenza ponte termico, spessore parete, emittanza, trasmittanza corretta.

name	age of bui	tipe	U	descrizion	Emittance	Uwind	Rshutters	ENgl	glsh	Fgl
wind_1	before 1919	Wind	4,9	finestre in legno con vetro singolo, schermature in legno	0,8	3,253	0,34	0,765	0,5	0,8
wind_2	1919_45	Wind	4,9	finestre in legno con vetro singolo, schermature in legno	0,8	3,253	0,34	0,765	0,5	0,8
wind_3	1946_61	Wind	4,9	finestre in legno con vetro singolo, taparelle	0,8	3,813	0,29	0,765	0,5	0,8
wind_4	1962_71	Wind	4,9	finestre in legno con vetro singolo, taparelle	0,8	3,813	0,29	0,765	0,5	0,8
wind_5	1972_81	Wind	4,9	finestre in legno con vetro singolo, taparelle	0,8	3,813	0,29	0,765	0,5	0,8
wind_6	1982_91	Wind	4,9	finestre in legno con vetro singolo, taparelle	0,8	3,813	0,29	0,765	0,5	0,8
wind_7	1992_2005	Wind	3,3	finestre in legno con vetro doppio, taparelle	0,8	2,323	0,29	0,675	0,5	0,8
wind_8	after_2005	Wind	3,3	finestre a taglio termico, vetro doppio	0,8	2	0,29	0,63	0,5	0,8
wind_9	1992_2005R	Wind	3,3	finestre in legno con vetro doppio, taparelle	0,8	2,323	0,29	0,63	0,5	0,8
wind_10	after_2005R	Wind	3,3	finestre a taglio termico, vetro doppio	0,8	2	0,29	0,63	0,5	0,8

Tab. n°8.6 abaco delle chiusure trasparenti. Nell'ordine: codice univoco, periodo di costruzione, tipo di elemento costruttivo, trasmittanza, descrizione, emittanza, trasmittanza corretta con schermatura; resistenza termica della schermatura; trasmittanza di energia solare, trasmittanza di energia solare con schermatura, incidenza del vetro nella finestra.

8.3 Definizione degli impianti

Sicuramente il dato di base caricato da un grado più elevato di arbitrarietà è la definizione degli abachi degli impianti e la loro assegnazione agli archetipi. Abbiamo già discusso circa la problematicità del reperimento di informazioni riguardanti gli impianti di riscaldamento e ACS dell'edilizia residenziale. Per strutturare

[4] In appendice si troveranno tutti gli abachi riportanti le caratteristiche fisiche degli elementi di fabbrica

l'esempio applicativo si sono effettuate alcune ipotesi basate sui dati raccolti con i sopralluoghi e su alcuni colloqui con i responsabili dei data base ISPES per la provincia di Cagliari.

Gli edifici realizzati dopo gli anni sessanta fino ai primi degli anni novanta, con più di quattro unità immobiliari, generalmente sono provvisti di impianti centralizzati alimentati da caldaie a gasolio provvisti di radiatori per fluido termo vettore ad alta temperatura (tab. n°8.7). Naturalmente è sempre più frequente la dismissione dei vecchi e dispendiosi impianti centralizzati in favore di moderne pompe di calore ad alta efficienza; si potrà avere una dimensione del fenomeno analizzando i dati del futuro censimento ISTAT, oppure avendo ancora una volta accesso alle informazioni ENEA riguardo le pratiche di sostituzione degli impianti con Pompe di calore ad alta efficienza o caldaie a condensazione. Questi edifici non possiedono impianti centralizzati per la produzione di ACS, che per altro sono una tecnologia praticamente assente in tutta la città, per cui il fabbisogno si è supposto soddisfatto con boiler elettrici ad accumulo. Per quanto riguarda gli edifici con meno di quattro unità immobiliari si è supposta la presenza di impianti autonomi alimentati da caldaie a GAS utilizzate anche per la produzione di ACS (tab.n°8.8).

Osservando i dati ISTAT (2001) nell'anno del censimento, si può notare ancora una forte incidenza di edifici ancora privi di riscaldamento essenzialmente assegnabile al patrimonio edificato prima del 45. Vista però, la rapida diffusione degli impianti a Pompa di Calore (HP), facili da installare ed utilizzabili per la climatizzazione invernale ed estiva, per questo tipo di edifici se ne ipotizzerà l'uso per il soddisfacimento del fabbisogno per riscaldamento (tab. n°8.8). Anche per gli edifici di recente costruzione o ristrutturazione si è ipotizzato l'uso di impianti a Pompa di Calore ad alta efficienza, mentre per il soddisfacimento del fabbisogno per ACS si è sempre ipotizzato l'uso degli scaldacqua elettrici[5] (tab. n°8.7, n°8.8).

I valori massimi e minimi di rendimento assegnati ai sistemi con generazione a caldaia sono stati calcolati utilizzando gli abachi della norma (UNI 11300 parte seconda) in maniera coerente con le caratteristiche degli archetipi, e poi confrontati con quelli proposti dal software DOCET (tab. n°8.9). Parimenti anche i valori utilizzati per i sistemi a pompe di calore sono stati tratti dalle impostazioni del software ufficiale e verificati con una rapida indagine di mercato circa i rendimenti dei sistemi più diffusi (tab. n°8.9).

[5] Anche se nei casi di generazione non combinata di ACS si è ipotizzato solo l'uso di scaldacqua elettrici, l'abaco degli impianti per ACS riporta tutti i tipi di impianti del prospetto 31 della UNI 11300 parte 2, rendendo quindi possibile effettuare anche ipotesi differenti.

	ID	PERIODO_DI	TYPEHEAT	DHW	TYPEDHW	HEATFUEL	DHWFUEL	archetype
	1	1919_45	3HP1	0	P31_7	electricity	electricity	3
	2	1946_61	2BO2	0	P31_7	oil gas	electricity	4
	3	1962_71	2BO2	0	P31_7	oil gas	electricity	5
	4	1972_81	2BO2	0	P31_7	oil gas	electricity	6
	5	1982_91	2BO1	0	P31_7	oil gas	electricity	7
	6	1991_2005	2BO4	0	P31_7	oil gas	electricity	8
	7	1991_2005	3HP2	0	P31_7	electricity	electricity	9
	8	dopo il 2005	3HP3	0	P31_7	electricity	electricity	10
	9	dopo il 2005	3HP3	0	P31_7	electricity	electricity	11
	10	prima del 1919	3HP1	0	P31_7	electricity	electricity	1
	10	1919_45	3HP1	0	P31_7	electricity	electricity	2

Tab. n°8.7, ipotesi per gli edifici oltre le quattro unità immobiliari

	PERIODO_DI	TYPEHEAT	DHW	TYPEDHW *	HEATFUEL	DHWFUEL	archetype
	prima del 1919	3HP1	0	P31_7	electricity	electricity	1
	1919_45	3HP1	0	P31_7	electricity	electricity	2
	1919_45	3HP1	0	P31_7	electricity	electricity	3
	1946_61	3HP1	0	P31_7	electricity	electricity	4
	1962_71	1BO2	1	0	LPG	LPG	5
	1972_81	1BO2	1	0	LPG	LPG	6
	1982_91	1BO1	1	0	LPG	LPG	7
	1991_2005	1BO4	1	0	LPG	LPG	8
	1991_2005	3HP2	0	P31_7	electricity	electricity	9
	dopo il 2005	3HP3	0	P31_7	electricity	electricity	10
	dopo il 2005	3HP3	0	P31_7	electricity	electricity	11

Tab. n°8.8, ipotesi per gli edifici fino alla quattro unità immobiliari

	HEATGEN	DESCRIZ
	1BO1	caldaie standard fino a tre stelle, per riscaldamento autonomo (35kWh), impianto a radiatori ad alta temperatura piuttosto datato
	1BO2	caldaie condesazione o 4stelle, per riscaldamento autonomo (35kWh), impianto a radiatori ad alta temperatura piuttosto datato
	1BO3	caldaie standard fino a tre stelle, per riscaldamento autonomo (35kWh), impianto a bassa temperatura piuttosto datato
	1BO4	caldaie condesazione o 4stelle, per riscaldamento autonomo (35kWh), impianto a radiatori ad alta temperatura di recente costruzione
	1BO5	caldaie condesazione o 4stelle, per riscaldamento autonomo (35kWh), impianto a bassa temperatura di vario genere
	2BO1	caldaie standard fino a tre stelle, per riscaldamento centralizzato, impianto a radiatori ad alta temperatura piuttosto datato
	2BO2	caldaie condesazione o 4stelle, per riscaldamento centralizzato, impianto a radiatori ad alta temperatura piuttosto datato
	2BO3	caldaie standard fino a tre stelle, per riscaldamento autonomo (35kWh), impianto a bassa temperatura piuttosto datato
	2BO4	caldaie condesazione o 4stelle, per riscaldamento centralizzato, impianto a radiatori ad alta temperatura di recente costruzione
	2BO5	caldaie condesazione o 4stelle, per riscaldamento centralizzato, impianto a bassa temperatura di vario genere
	3HP1	Pompe di calore autonoma a bassa efficienza (COP 2,5), con vari tipi di serbatoi di calore e sistemi di distribuzione e regolazione
	3HP2	Pompe di calore autonoma (COP 3,5), con vari tipi di serbatoi di calore e sistemi di distribuzione e regolazione
	3HP3	Pompe di calore autonoma a alta efficienza (COP 4,5) con vari sistemi di distribuzione
	3HP4	Pompe di calore centralizzata ad alta efficienza (COP 4,5) con vari sistemi di distribuzione

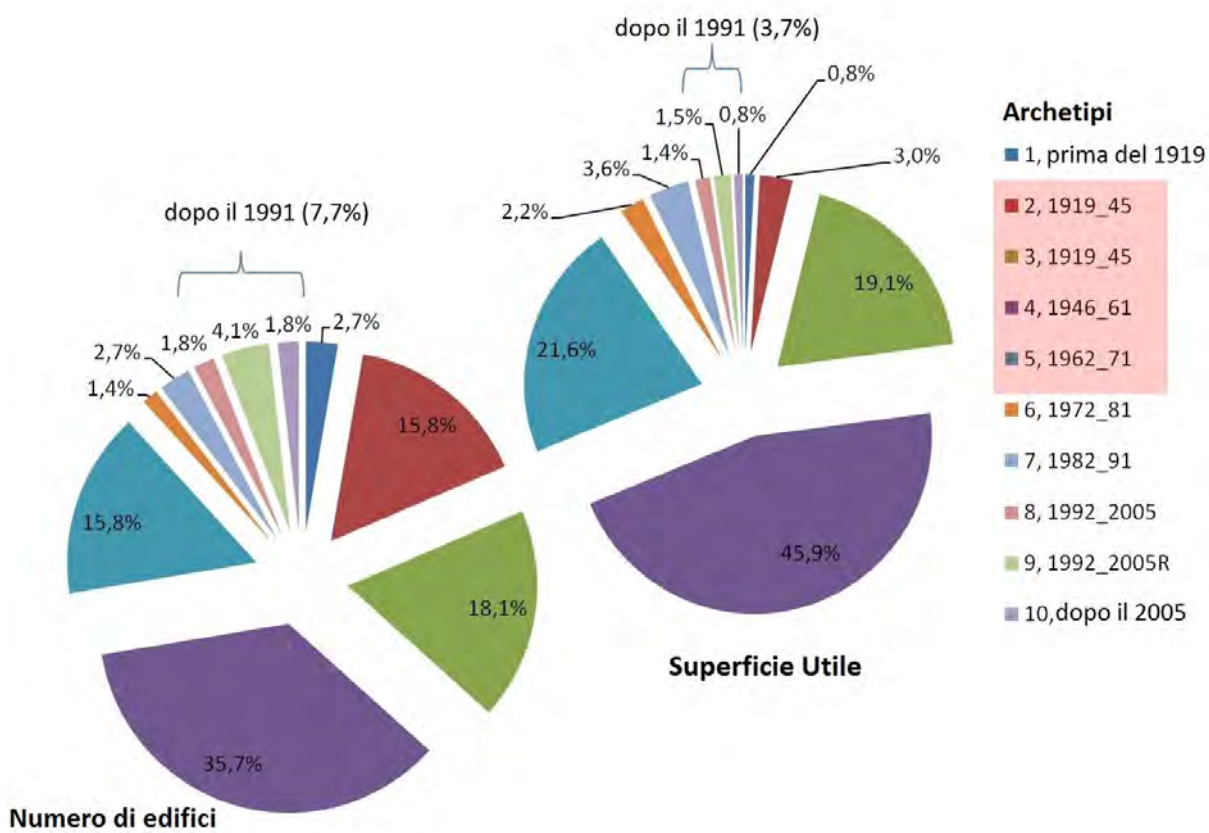
	HEATGEN	Nø_UNITS	NHEAT_MIN	NHEAT_MAX	COSTIANNO
	1BO1	<4	0,48	0,55	100
	1BO2	<4	0,55	0,6	100
	1BO3	<4	0,53	0,62	100
	1BO4	<4	0,65	0,76	100
	1BO5	<4	0,6	0,84	100
	2BO1	>4	0,54	0,68	400
	2BO2	>4	0,68	0,79	400
	2BO3	>4	0,71	0,79	400
	2BO4	>4	0,75	0,83	400
	2BO5	>4	0,79	0,88	400
	3HP1	<4	0,74	0,89	35
	3HP2	<4	0,98	1,8	25
	3HP3	<4	1,5	2,4	20
	3HP4	>4	1,7	2,6	200

Tab. n°8.9, abaco degli impianti di riscaldamento

8.4 Rappresentazione dello Stato Attuale del sistema

Partendo dai dati mostrati nel paragrafo precedente si sono utilizzati i tool presenti in RET per calcolare i fabbisogni netti per riscaldamento e di Energia Primaria e per assegnare l'etichetta della Certificazione Energetica ad ogni edificio dell'area di studio. Si è ottenuto cioè lo *Stato attuale del sistema*, ossia un file Shape poligonale georeferenziato nel quale sono presenti tutti gli attributi che definiscono le prestazioni energetiche dell'edificio. Sarà necessario approntare alcune letture sintetiche che ne esplicitino le caratteristiche per favorire la sua rappresentazione in chiave comunicativa.

In primo luogo l'assegnazione puntuale degli archetipi ai poligoni rappresentanti i volumi edilizi ci permette di affermare che pur essendo presenti principalmente edifici realizzati tra il 1919 ed il 1960, prendendo in considerazione le superfici utili residenziali del patrimonio edificato[6], il peso degli edifici realizzati negli anni cinquanta e sessanta guadagna molta importanza, perché si tratta di edifici multilivello di maggiori dimensioni rispetto a quelli realizzati negli anni precedenti (fig. n°8.6). Si nota anche il peso risibile in termini di superficie utile dell'archetipo 2 che dal punto di vista numerico invece è caratterizzato da un peso non trascurabile. Gli edifici classificabili con gli archetipi più moderni, e quindi di migliori prestazioni energetiche, non arrivano a costituire il 4% della superficie utile residenziale dell'area. Basandoci su quanto detto si è scelto di focalizzare l'attenzione solo sugli archetipi maggiormente rappresentati in termini di numerosità e superficie utile ossia gli archetipi 2, 3, 4, 5 che rappresentano l'attività edificatoria dell'area dagli anni venti fino a tutti gli anni sessanta (fig. n°8.7). Inoltre il tipo di studio proposto volto ad esplicitare "per tipi" le caratteristiche del patrimonio edificato mal si adatta ad archetipi rappresentati da un numero esiguo di edifici, poiché viene meno il carattere mediato della informazione ricercata.

[6] Questo dato è stato ricavato utilizzando in toolset A per il calcolo delle superfici riscaldate tenendo conto degli spessori della muratura e della presenza del vano scala.

Composizione del area di studio

Archetipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	tot
n° di edifici	6	35	40	79	35	3	6	4	9	4	221

Fig. n°8.6, peso dei vari archetipi rispetto al numero di edifici ed alla superficie utile residenziale

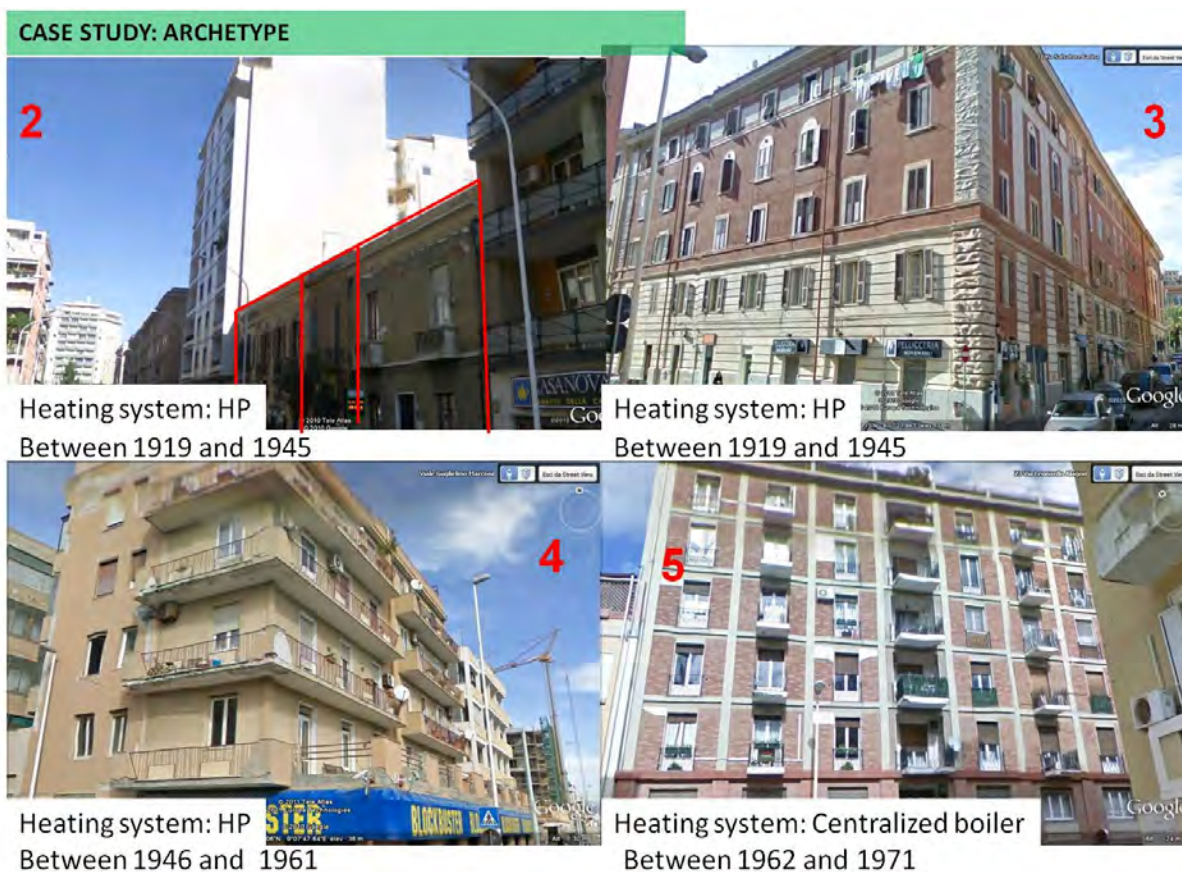



Fig. n°8.7, immagini esemplificative degli archetipi più diffusi nell'area.

Dal punto di vista costruttivo gli archetipi 2, 3, 4 sono molto simili: si tratta di edifici con muratura portante in blocchi lapidei di pietra calcarea di circa 50-70cm, con intonaci di spessori importati (5-8 cm) in malta di calce. Gli edifici più vecchi potrebbero ancora presentare murature a sacco, mentre quelli degli anni cinquanta sono realizzati in struttura mista in CA come si può vedere dalla presenza dei balconi. Se da una parte le caratteristiche fisiche dei materiali e delle strutture di questi archetipi sono molto simili tra loro, la tipologie edilizie si differenziano per geometria e dimensioni e per una diversa incidenza delle superfici finestrate (tab. n°8.10). All'archetipo 4 fa riferimento quasi il 50% della superficie residenziale utile dell'area perché presenta spesso edifici a più livelli di grande dimensione planimetrica; in considerazione delle sue caratteristiche fisico costruttive, a tale archetipo è imputabile la quota maggiore dei consumi. L'archetipo 5, al contrario, è costruito con uno scheletro portante in CA e una tamponatura leggera a cassa vuota di spessori variabili tra 25cm e 35 cm. Tipicamente si tratta di tamponature realizzate con due paramenti di mattoni forati dello spessore di 20cm (in esterno) e di 8-10cm (in interno), intonacati con malta cementizia oppure faccia a vista, che lasciano una intercapedine vuota di 8-12cm. Le ipotesi e le strategie di intervento si focalizzeranno sugli archetipi più rappresentati e si baseranno sulle caratteristiche fisiche delle strutture e degli impianti (tab. n°10).

Archetipo	Data di costruzione	Muratura	isolamento	Glazing Ratio
1	Prima de 1919	Piccoli edifici, muratura lapidea intonacata, 60-70cm spessore	no	17%-19%
2	Tra il 1919 e 1945	Piccoli edifici, muratura lapidea intonacata, 60-70cm spessore	no	17%-19%
3	Tra 1919 e il 1945	muratura lapidea intonacata, 60-70cm spessore	no	14%-17%
4	Tra il 1946 e il 1961	muratura lapidea intonacata e struttura in CA, 60-70cm spessore	no	18%-19%
5	Tra il 1962 e il 1971	Cassa vuota e CA, 25-35cm spessore	no	19%-23%
6	Tra il 1972 e il 1981	Cassa vuota e CA, 25-35cm spessore	Isolante?	19%-23%
7	Tra il 1982 e il 1991	Cassa vuota e CA, 25-35cm spessore	Isolante (3 cm)	20%-23%
8	Tra il 1991 e il 2005	Cassa vuota e CA, 25-35cm spessore	Isolante (3-5cm)	21%-25%
9	Dopo il 2005	Varie tipologie 25-30cm di spessore	Isolante (5-7cm)	21%-25%
10	Edifici ristrutturati	muratura lapidea intonacata, 60-70cm spessore	Isolante (3-5cm)	17%-19%

Senza regolamentazione sull'efficienza energetica

Senza o con debole regolamentazione sulla efficienza energetica

Forte regolamentazione sulla efficienza energetica

Tab. n°8.10, tabella riassuntiva delle caratteristiche degli archetipi più frequenti

	Archetipo	Periodo di costruzione	Tipologia riscaldamento	Tipo ACS	min heat μ	max heat μ
<= 4 unità	2	1919_45	Pompa calore obsoleta	elettrico n = 0,27*	0,74*	0,89*
	3	1919_45	Pompa calore obsoleta	elettrico n = 0,27*	0,74*	0,89*
	4	1946_61	Pompa calore obsoleta	elettrico n = 0,27*	0,74*	0,89*
	5	1962_71	Caldaia autonoma e radiatori ad alta temperatura; GPL	Combinato col riscaldamento	0,48	0,55
> 4 unità	2	1919_45	Pompa calore obsoleta	elettrico n = 0,27*	0,74*	0,89*
	3	1919_45	Pompa calore obsoleta	elettrico n = 0,27*	0,74*	0,89*
	4	1946_61	Caldaia centralizzata e radiatori ad alta temperatura; Gasolio	elettrico n = 0,27*	0,68	0,79
	5	1962_71	Caldaia centralizzata e radiatori ad alta temperatura; Gasolio	elettrico n = 0,27*	0,68	0,79

*calcolato tenendo conto del rendimento medio del sistema elettrico nazionale = 0,36

Tab. n°8.11, tabella riassuntiva degli impianti negli archetipi più frequenti

Eseguendo i tool di RET non si effettua solo il calcolo del fabbisogno netto e di EP ma si esplicita anche l'influenza di ogni parametro del calcolo a livello urbano, in modo da poter essere di aiuto alla definizione delle ipotesi di intervento.

Per esempio possiamo visualizzare il campo di variazione dei fattori che determinano il fabbisogno netto, ossia le perdite per ventilazione e dall'involucro, i guadagni termici interni e per l'irraggiamento solare.

Le perdite attraverso l'involucro determinano la gran parte del fabbisogno netto: il grafico (fig. n°8.8) mostra una certa variabilità del fattore in dipendenza prettamente dalla varietà delle forme geometriche che caratterizzano un contesto reale. Si ricorda che le pareti che dividono zone termiche riscaldate, anche se appartenenti ad edifici diversi, non sono considerate disperdenti; perciò lo stesso edificio può avere valori completamente diversi di perdite per trasmissione qualora fosse considerato isolato o costruito in adiacenza con altri. In ogni caso il valore medio (più probabile) dei fabbisogni al mq di superficie utile è simile per gli archetipi 3 e 4 che sono caratterizzati da parametri geometrici simili. L'archetipo 2 riferito agli edifici di piccola dimensione, pur essendo caratterizzato da poche superfici disperdenti, vede fabbisogni superiori di circa il 20% rispetto alle altre tipologie in muratura portante, a causa dell'esiguità della superficie utile in rapporto alle dimensioni dell'involucro. L'archetipo 4, grazie alle migliori caratteristiche fisiche dei materiali e al maggior numero di piani degli edifici, nonostante la forte influenza dei ponti termici (considerata al 20%) e la maggiore presenza di superfici finestrate, mostra fabbisogni per metro quadro decisamente inferiori.

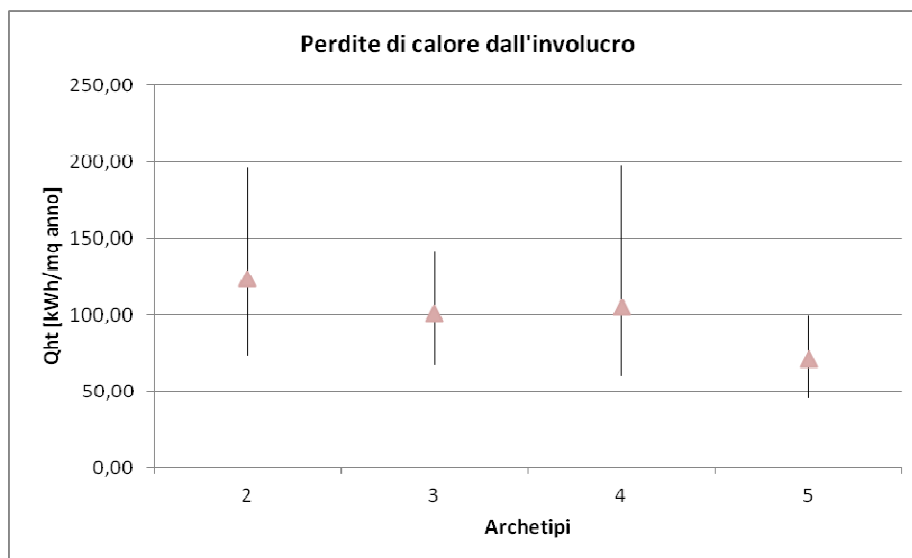



Fig. n°8.8, range di variazione delle perdite attraverso l'involucro per metro quadro di superficie utile, calcolato per la stagione invernale.

Come già visto, le perdite per trasmissione sono responsabili della maggior parte del fabbisogno e sono anche destinatarie di una buona parte delle politiche nazionali e locali per il risparmio energetico che si

indirizzano in modo specifico ai diversi componenti dell'involucro. Inoltre l'involucro edilizio non ha solo la funzione tecnica di membrana per il mantenimento delle condizioni di comfort termo - igrometrico interno, ma è anche facciata verso la città e elemento funzionale per le attività interne all'edificio. Perciò è necessario esplicitare l'importanza dei vari elementi che compongono l'involucro nella determinazione dei fabbisogni, così da poter agire in modo mirato su ognuno di essi tenendone conto anche nella predisposizione di politiche urbane non direttamente orientate a fini energetici.

Grazie alla struttura aperta del toolbox siamo perciò in grado di esplicitare questi pesi; presentandoli, ad esempio, in maniera mediata per archetipo si può notare come la tipologia edilizia generi una diversa gradazione di importanza tra gli elementi dell'involucro (fig. n°8.9). L'archetipo 2 mostra un limitato peso delle perdite per trasmissione attraverso le strutture murarie, in quanto caratterizzato da una scarsa incidenza delle facciate esterne; per questo aumenta l'influenza delle dispersioni attraverso la copertura e le superfici finestrate. Nell'archetipo 5 le dispersioni attraverso le chiusure trasparenti assumono quasi la stessa importanza di quelle attraverso le chiusure opache verticali, perché caratterizzato da murature con inferiori valori di trasmittanza e da una maggiore valore di glazing ratio. Il peso delle dispersioni di calore per ventilazione è sempre inferiore al 10% e generalmente si assesta sullo stesso livello in tutti gli archetipi.

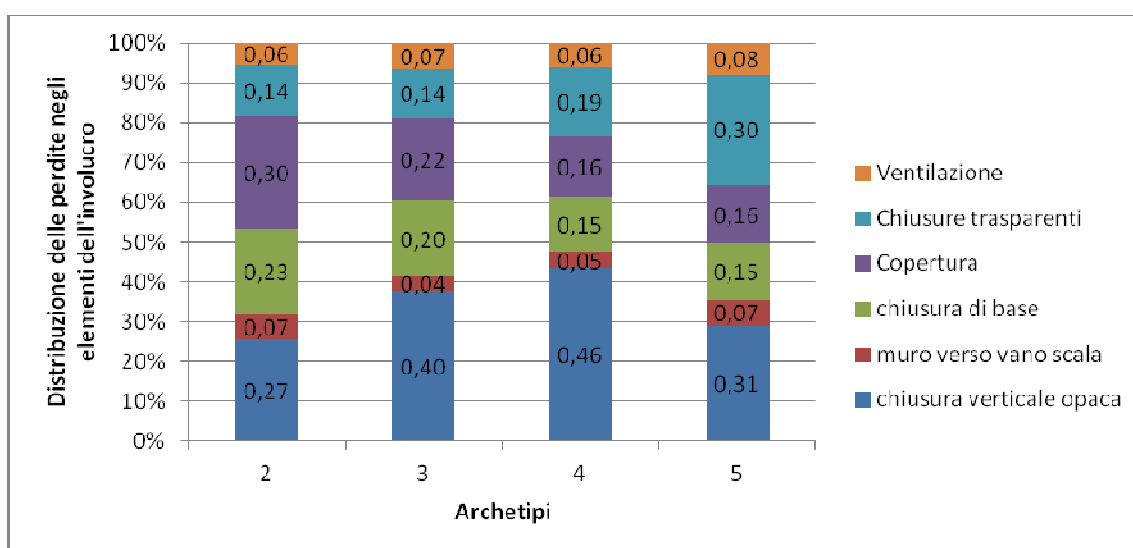



Fig. n°8.9, distribuzione delle perdite di calore tra i vari elementi dell'involucro e le dispersione per ventilazione

Le distribuzioni medie delle dispersioni nei vari elementi dell'involucro danno una informazione utile per la proposta delle ipotesi di intervento in modo specifico per ogni archetipo: per esempio una politica che incentivi il rinnovamento delle chiusure trasparenti può avere un impatto maggiore nell'archetipo 5 rispetto agli altri, mentre promuovere il miglioramento delle prestazioni termiche dell'involucro murario

può avere un impatto molto limitato nell'archetipo 2 al contrario nell'archetipo 5 può avere la stessa importanza delle finestre.

Avendo la possibilità di accedere a tutte le grandezze che partecipano al calcolo è possibile effettuare specifici studi per esplicitare l'influenza di un determinato fattore sul calcolo. Ad esempio, qui si propone di valutare la relazione tra le dispersioni dell'involucro e un parametro di forma dell'edificio; nel nostro caso si è utilizzato un indice sintetico della compattezza dell'edificio, ossia il fattore S/V calcolato dal toolset G per la classificazione della CE (fig. n°8.10). Le dispersioni sono direttamente proporzionali al fattore di forma; ogni archetipo ha, però, un andamento specifico e mostra nuvole di punti più o meno assiepate su un trend lineare. Naturalmente vi sono alcuni edifici che non seguono il trend del gruppo perché caratterizzati da situazioni geometriche particolari; tale anomalia, visto il carattere dimostrativo dello studio, può essere ad eventuali errori di compilazione dei dati di input. I due valori, però, non potranno mai essere legati da una relazione di tipo prettamente lineare perché le dispersioni dipendono, con un'incidenza di poco meno del 10%, anche dall'extraflusso che varia a seconda del grado di ombreggiamento dell'edificio. Grazie alla struttura aperta del toolbox i confronti possono essere fatti con qualunque fattore sia considerato nel calcolo rendendo lo stato di fatto uno strumento particolarmente flessibile per lo studio delle caratteristiche energetiche del patrimonio edificato.

Archetype 2

Archetype 3

Archetype 4

Archetype5

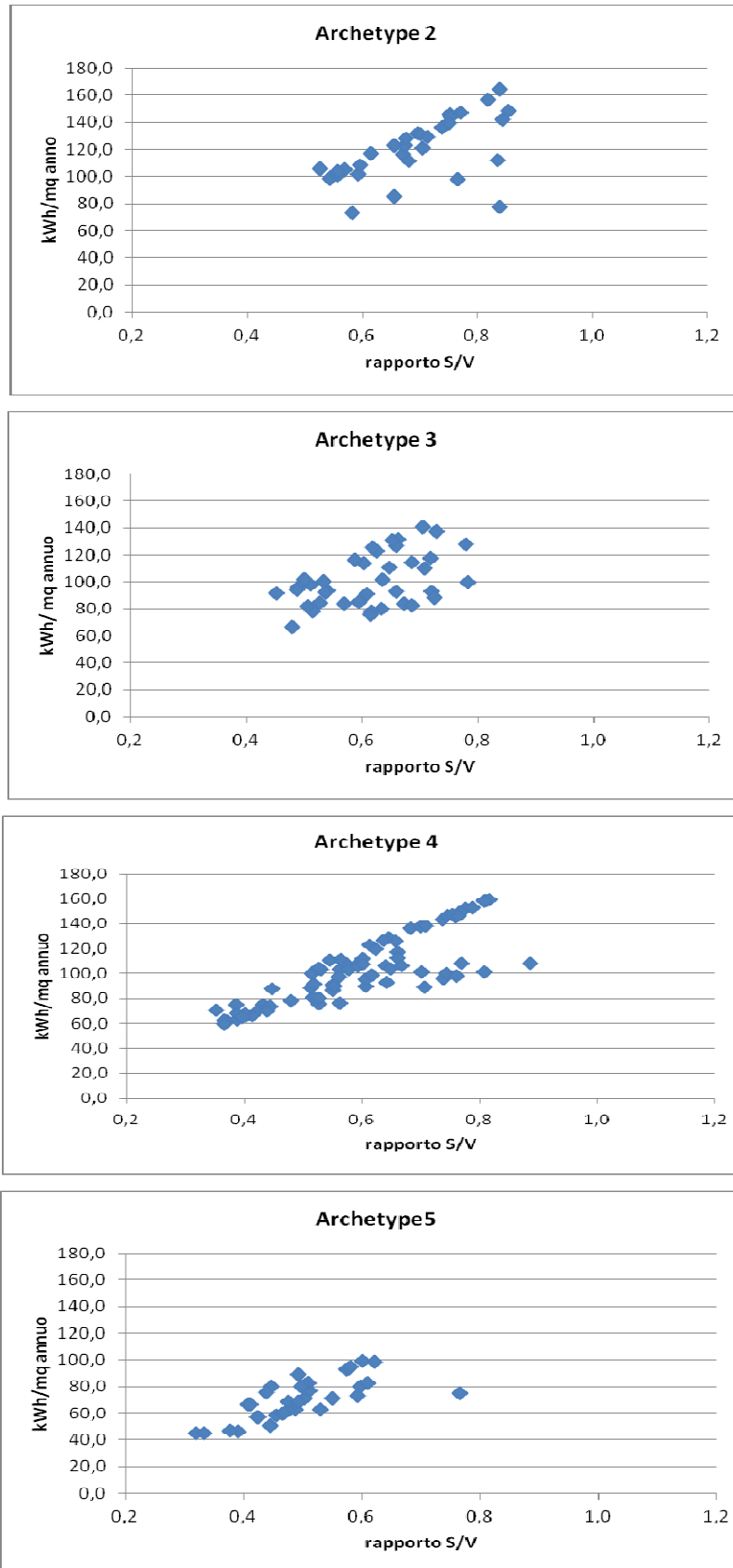



Fig. n°8.10, dispersioni attraverso l'involucro in funzione del parametro S/V per i diversi archetipi

Il guadagno solare contribuisce in maniera simile nei primi tre archetipi, anche se la 2 mostra valori più variabili in quanto, essendo edifici di dimensione limitate con poche finestre, sono molto influenzabili dall'orientamento (fig. n°8.11). L'archetipo 5, pur avendo una maggiore incidenza di grazing ratio, ha dei guadagni solari inferiori a causa dell'influenza degli aggetti orizzontali dell'edificio, ossia per la presenza di ingombranti balconi che limitano l'irraggiamento solare diretto sulle superfici verticali. Il toolbox è in grado di dividere il contributo dell'irraggiamento solare nella quota relativa alle chiusure trasparenti ed in quella delle strutture opache verticali ed orizzontali; possiamo inoltre visualizzare il valore dell'angolo generato dalle schermature esterne per ogni facciata (fig. n°8.12, n°8.13, n°8.14, n°8.15). La possibilità di visualizzare senza ulteriori operazioni di analisi il grado di ombreggiamento delle superfici verticali può fornire informazioni aggiuntive nella definizione di politiche di incentivazione specifiche per ambiti urbani: per esempio, la proposta di arredi urbani che possano limitare gli apporti solari estivi senza perdere troppo il contributo invernale, oppure regolamenti edilizi che prevedano l'uso di un preciso tipo di schermature per gli edifici di nuova costruzione o nel caso di rifacimenti di facciata.

Guadagno di calore per il contributo solare

Qsol [kWh/mq anno]

100,00
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00

2 3 4 5

Archetipi

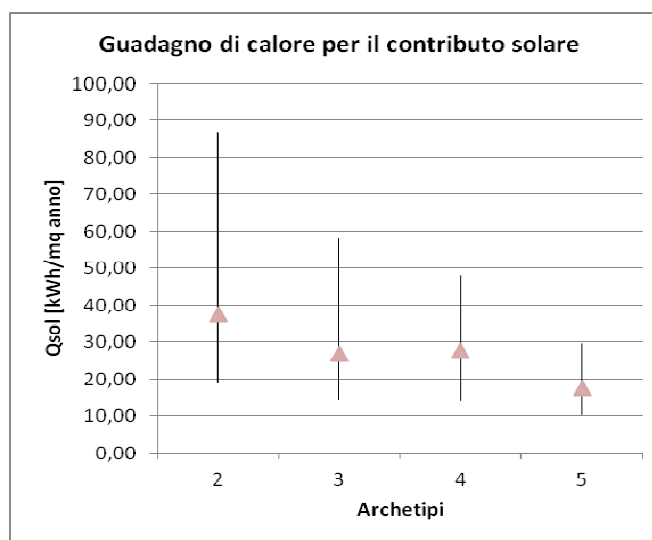



Fig. n°8.11, range di variazione dei guadagni solari per metro quadro di superficie utile, calcolato per la stagione invernale.

Geometry: Fob factor

Obstruction angle [degr]

> 50
40 - 50
30 - 40
20 - 30
10 - 20
0 - 10
<= 0

Obstruction angle visualization — horizontal roof — tilted roof

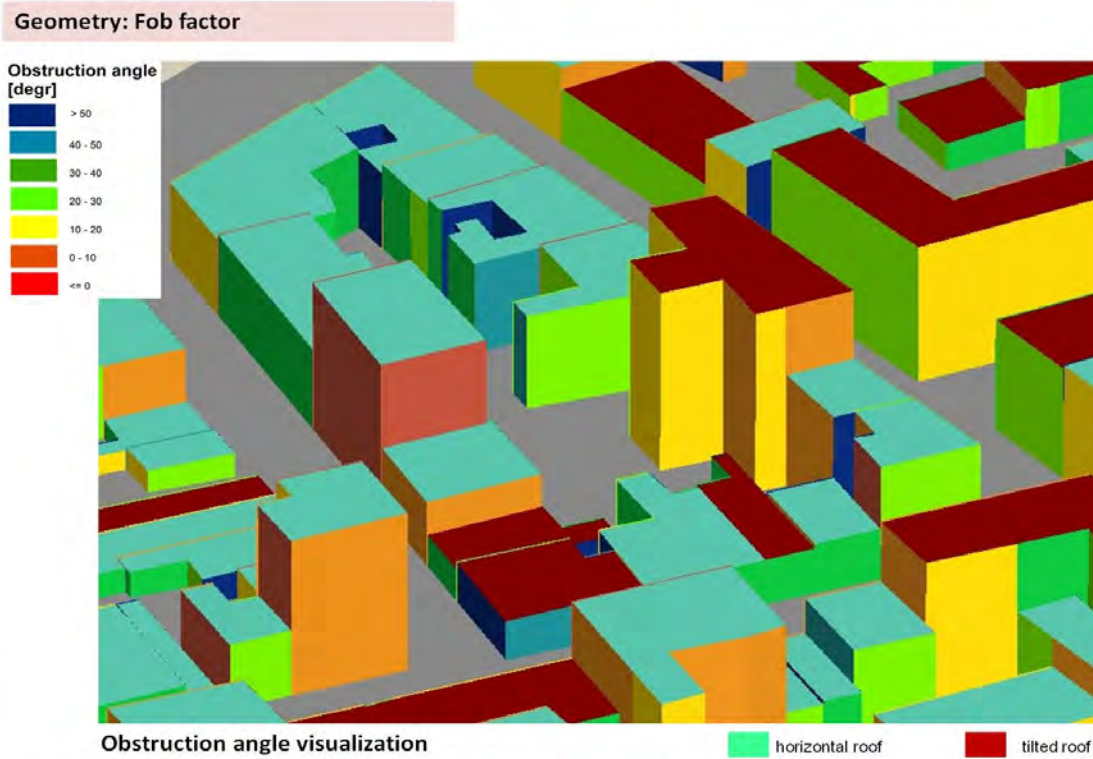



Fig. n°8.12, visualizzazione del valore dell'angolo di ostruzione per schermature esterne, i tetti non sono considerati con ombreggiatura ma sono divisi tra coperture inclinate ed orizzontali.

Geometry: Fob factor

Obstruction angle [degr]

> 50
40 - 50
30 - 40
20 - 30
10 - 20
0 - 10
<= 0

Obstruction angle visualization — horizontal roof — tilted roof

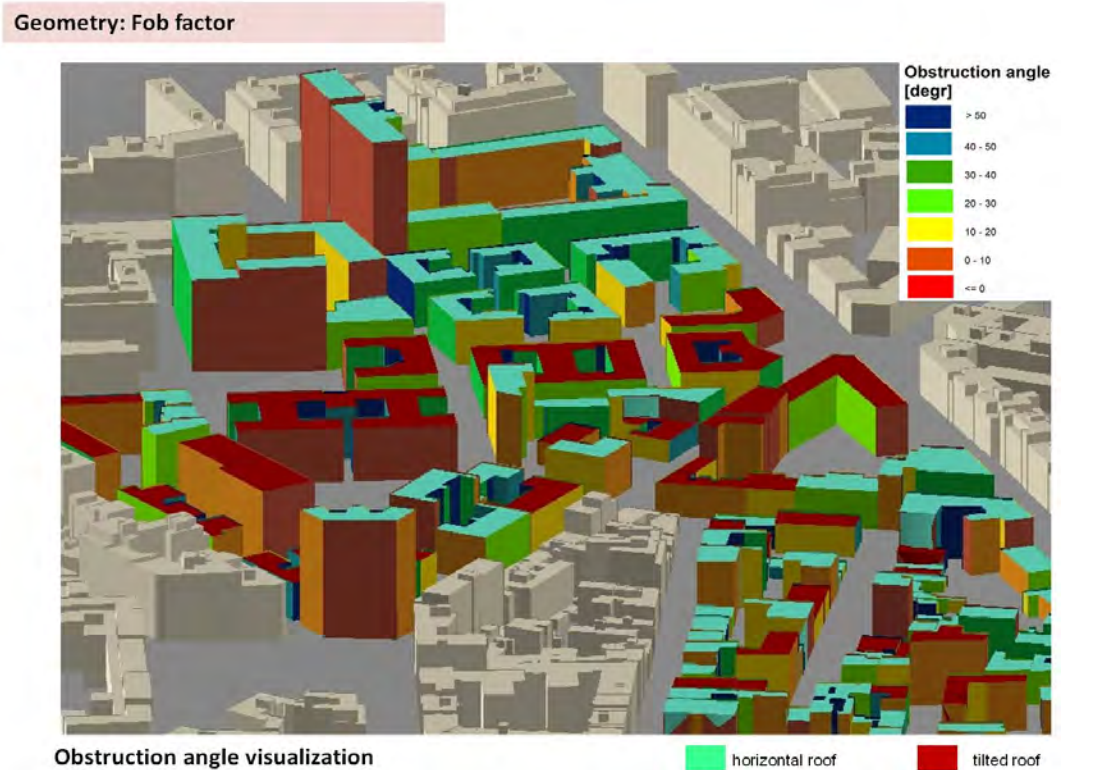



Fig. n°8.13, visualizzazione del valore dell'angolo di ostruzione per schermature esterne, i tetti non sono considerati con ombreggiatura ma sono divisi tra coperture inclinate ed orizzontali

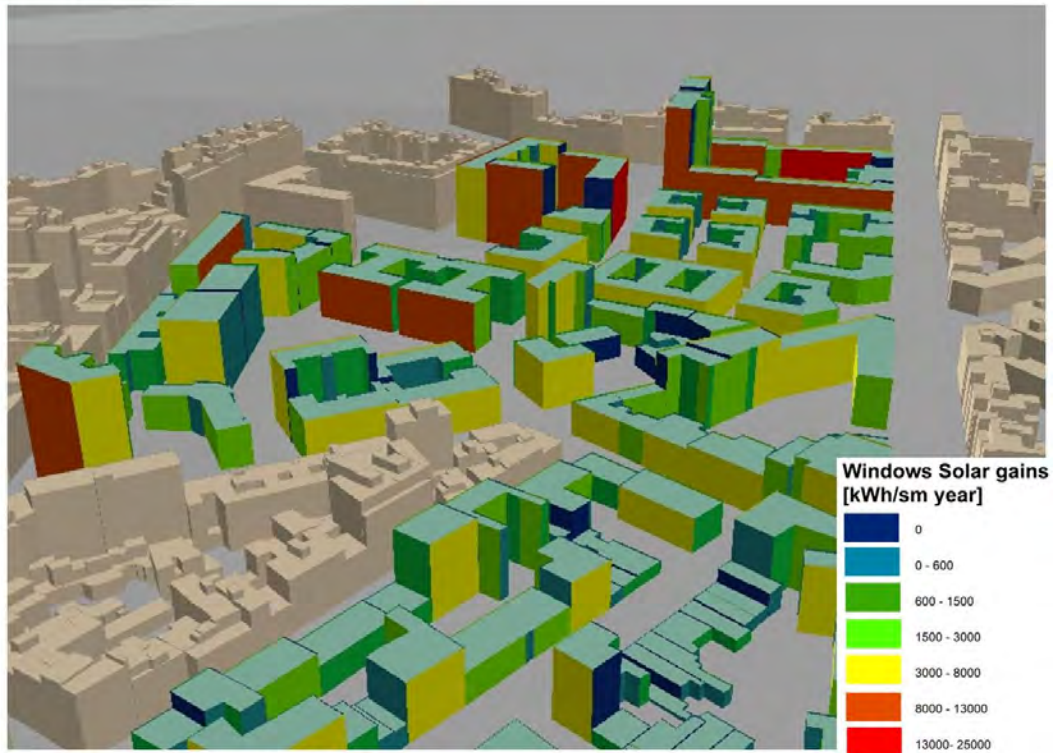



Fig. n°8.14, visualizzazione dei guadagni solari attraverso le chiusure trasparenti

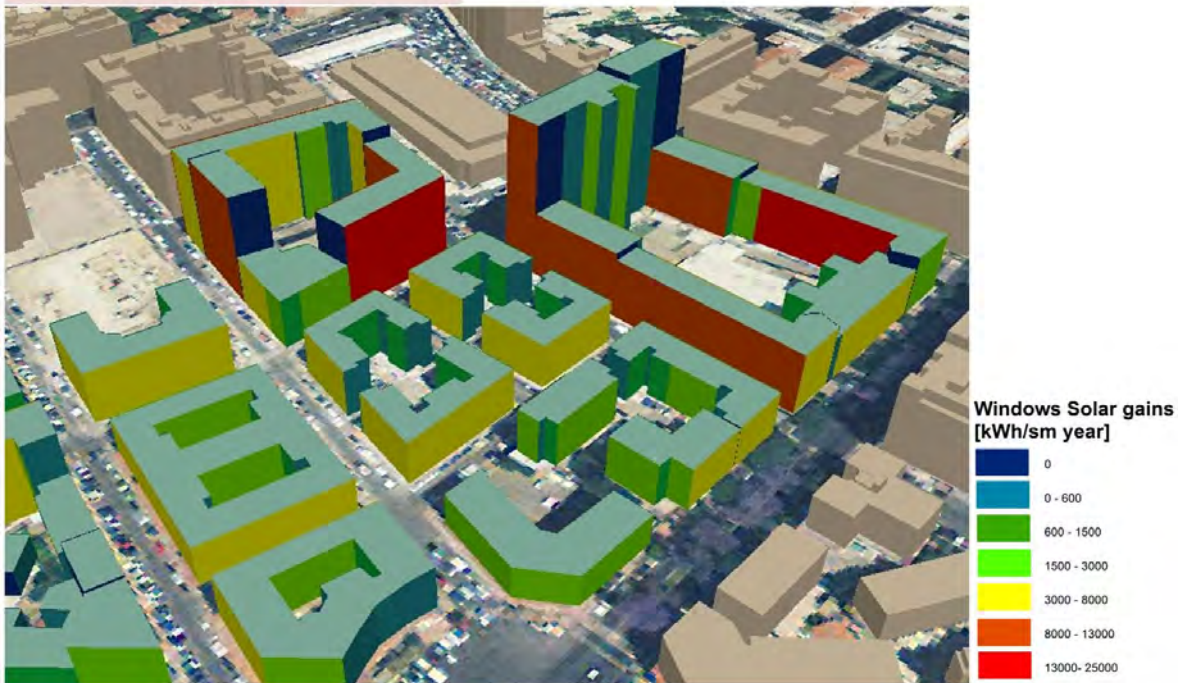



Fig. n°8.15, visualizzazione dei guadagni solari attraverso le chiusure trasparenti

Le perdite per ventilazione ed i guadagni interni mostrano una variabilità più limitata in quanto determinati utilizzando le formule empiriche proposte dalla norma, in funzione della superficie utile e del volume riscaldato.

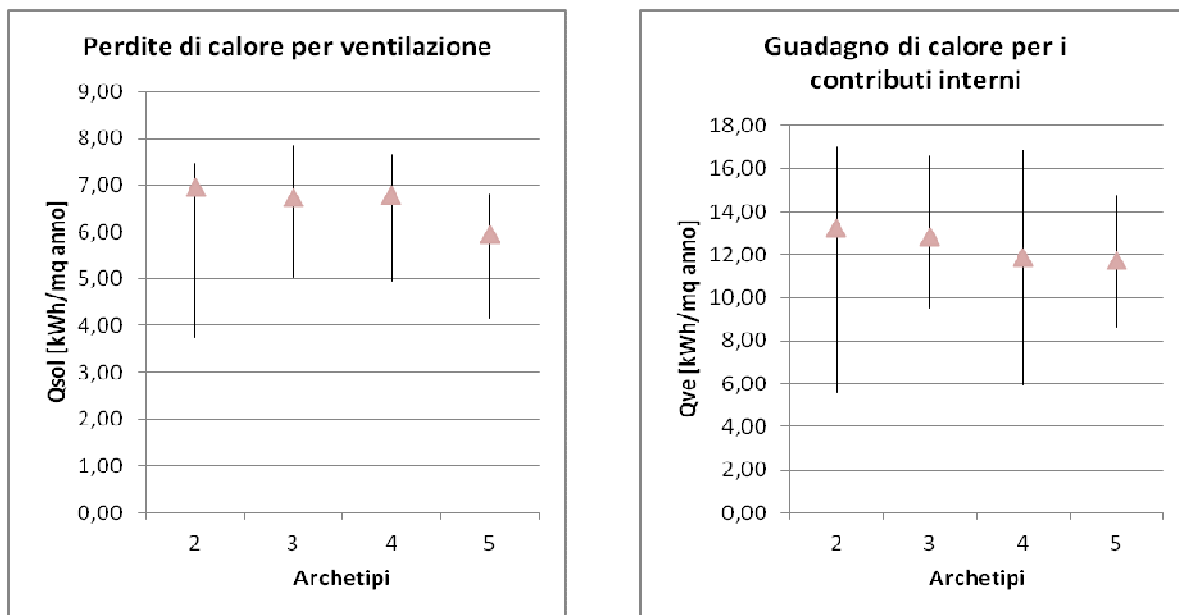



Fig. n°8.16, range di variazione dei guadagni interni e delle perdite per ventilazione per metro quadro di superficie utile, calcolato per la stagione invernale.

Il fabbisogno netto per riscaldamento è influenzato principalmente dalle perdite attraverso l'involucro, ma l'influenza degli altri fattori rende difficile identificare un trend lineare. Anche in questo caso si sono elaborati alcuni grafici per rappresentare la dipendenza del fabbisogno netto dal fattore di forma (fig. n°8.17). Per quanto le relazioni tra le variabili siano lontane dall'individuare delle tendenze lineari, gli archetipi individuano distribuzioni abbastanza compatte. Anche in questo caso l'andamento del fabbisogno netto potrebbe essere studiato in funzione di qualunque fattore influenzi il calcolo o caratterizzi il patrimonio edificato.

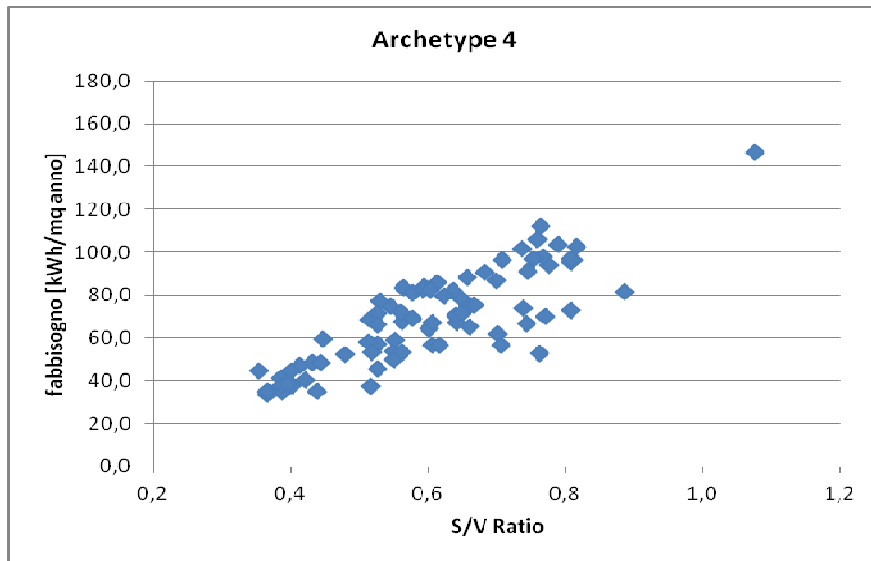
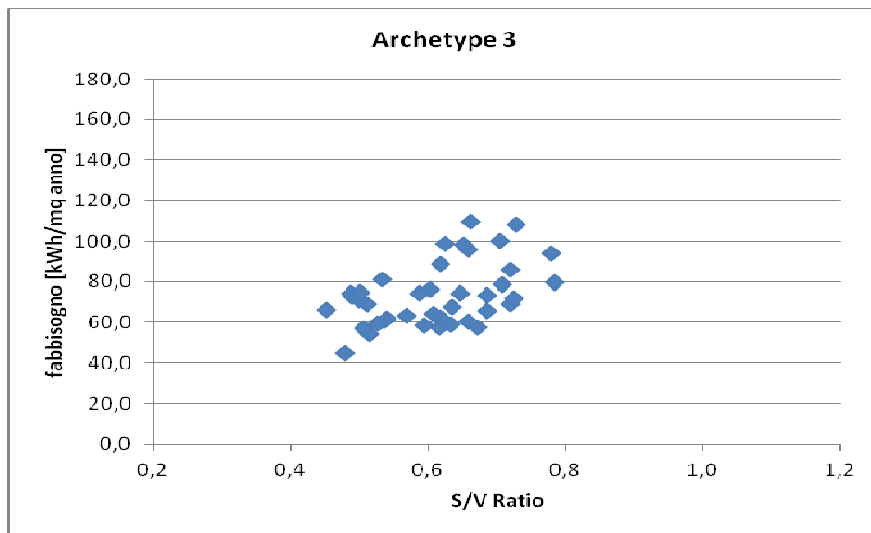
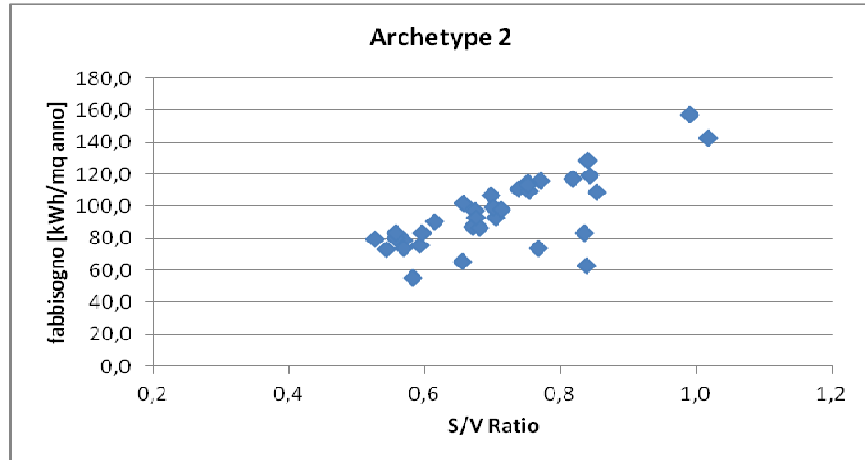
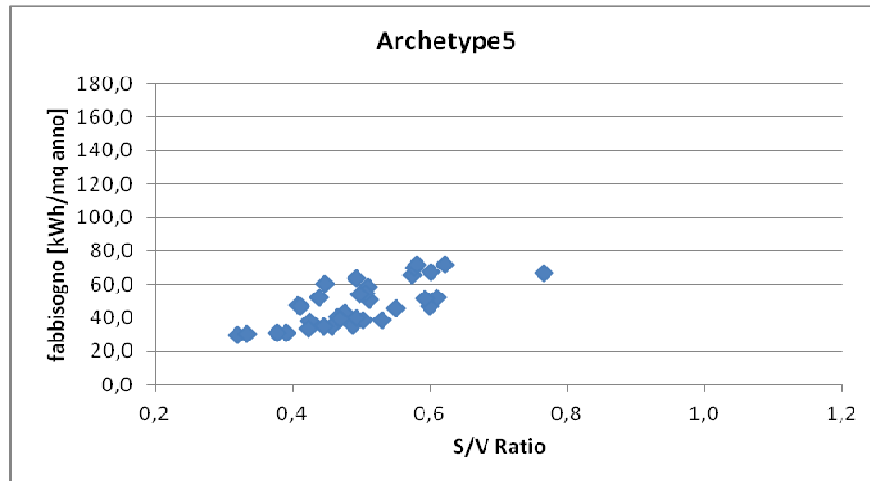



Fig. n°8.17, fabbisogno netto per riscaldamento in funzione del parametro S/V

Sfruttando la dimensione spaziale dell'informazione, siamo in grado di disegnare delle mappe georeferenziate del fabbisogno netto, cui aggiungere per esempio l'etichetta della CE calcolata con l'EPi, ossia coi rendimenti ipotizzati solo per il riscaldamento (fig.n°8.18). Alcuni edifici più recenti mostrano alti punteggi della classificazione CE, perché caratterizzati da bassi valori di trasmittanza dell'involucro; se però osserviamo solo gli archetipi su cui si focalizza lo studio, si noterà che non superano la classe E. Effettuando la certificazione in base alla EPgl, ossia tenendo conto anche del fabbisogno per ACS, anche utilizzando i rendimenti minimi e massimi degli impianti le classificazioni CE si sono assestate tutte sulle classi inferiori (fig n°8.19 e fign°8.20). Anche gli edifici più recenti hanno ottenuto bassi valori di efficienza globale a causa dell'ipotesi fortemente penalizzante, ma non completamente inverosimile, riguardo l'uso dello scaldacqua elettrico.

Fig. n°8.18, rappresentazione cartografica del fabbisogno netto degli edifici e della loro classe CE (EPi max)

Archetipe
9; 10
8
7
6
5
4
3
2

Fig. n°8.19, rappresentazione cartografica della classe CE(EPgl min e max) e degli archetipi degli edifici

Archetipe

9; 10
8
7
6
5
4
3
2

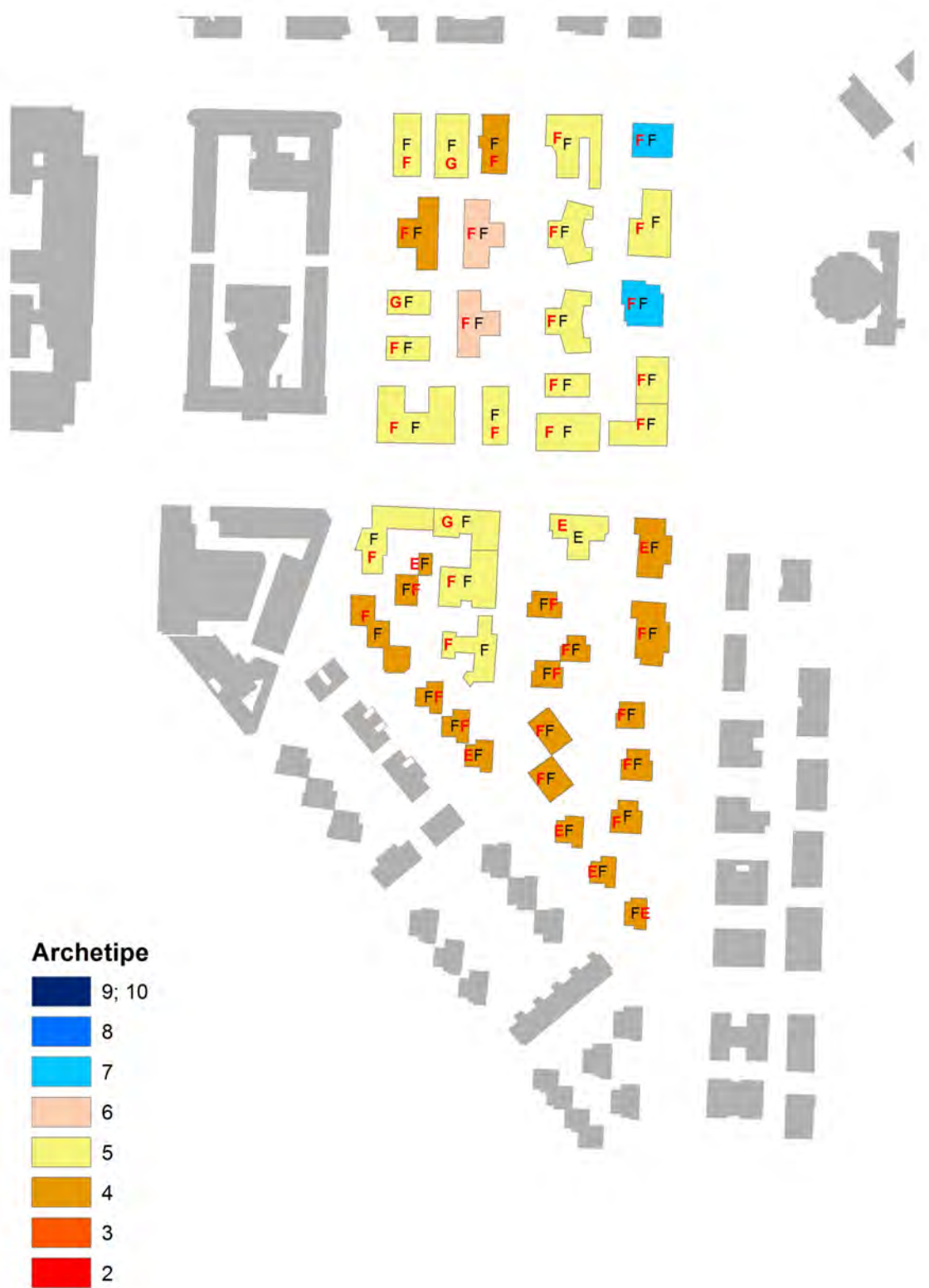



Fig. n°8.20, rappresentazione cartografica della classe CE (EPgl min e max) e degli archetipi degli edifici

I risultati rappresentati cartograficamente possono essere sintetizzati anche con i consueti grafici, grazie ai quali è possibile confrontare i costi operativi annui unitari e le emissioni degli edifici suddivisi nei diversi archetipi (fig. n°21). I risultati rispecchiano quanto mostrato nel calcolo del fabbisogno netto: l'energia Primaria necessaria per ACS è molto simile in tutti gli archetipi in quanto il suo valore dipende solamente dalla dimensione della unità immobiliare (fig. n°22).

Nel calcolo della EP si è partiti da assunzioni alquanto arbitrarie riguardo i tipi di impianti presenti e la loro efficienza; che rende il calcolo effettuato in questa sede un mero esempio di come il tool possa effettuare la CE e provvedere ad una sua efficace rappresentazione.

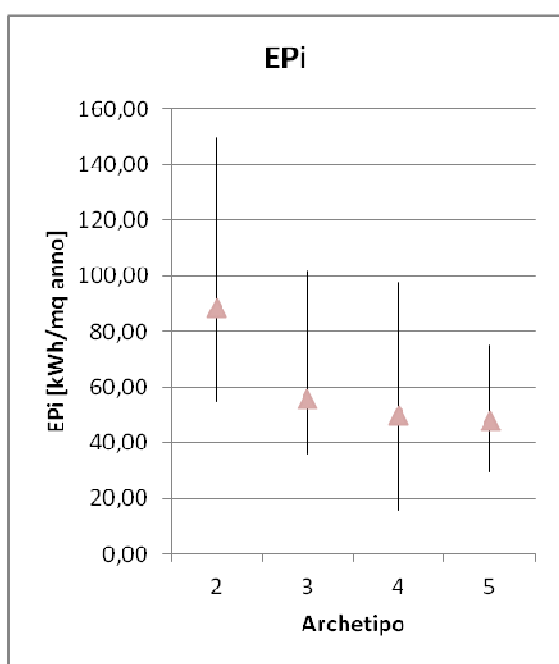



Fig. n°21, range di variazione della Energia Primaria per riscaldamento per metro quadro di superficie utile, calcolato per la stagione invernale

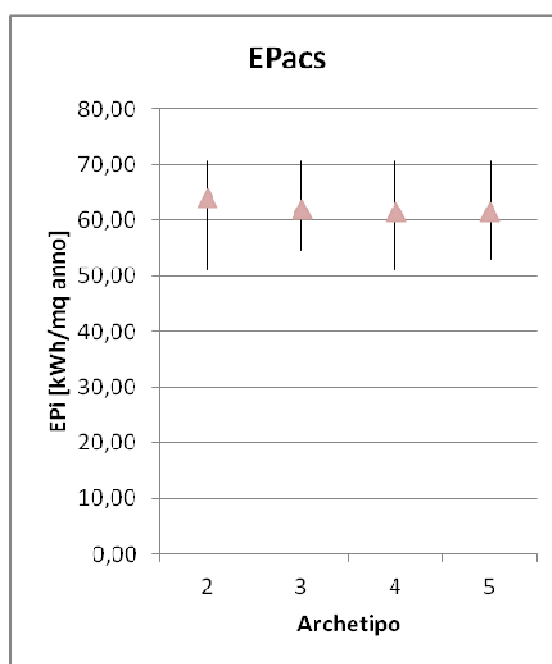



Fig. n°22, range di variazione della Energia Primaria ACS per metro quadro di superficie utile

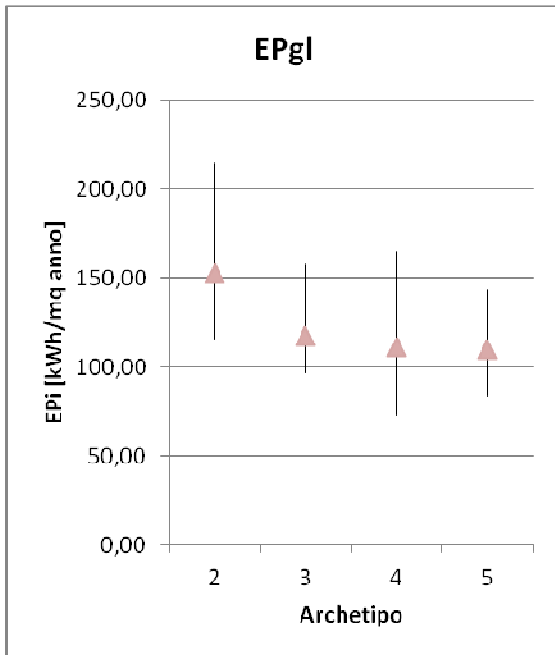



Fig. n°23, range di variazione della Energia Primaria globale (EPi+EPacs) per metro quadro di superficie utile

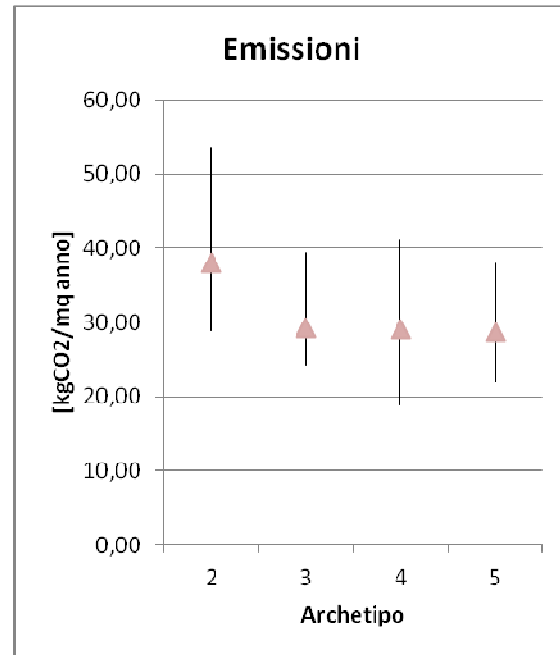



Fig. n°24, range di variazione delle Emissioni di CO2 per metro quadro di superficie utile

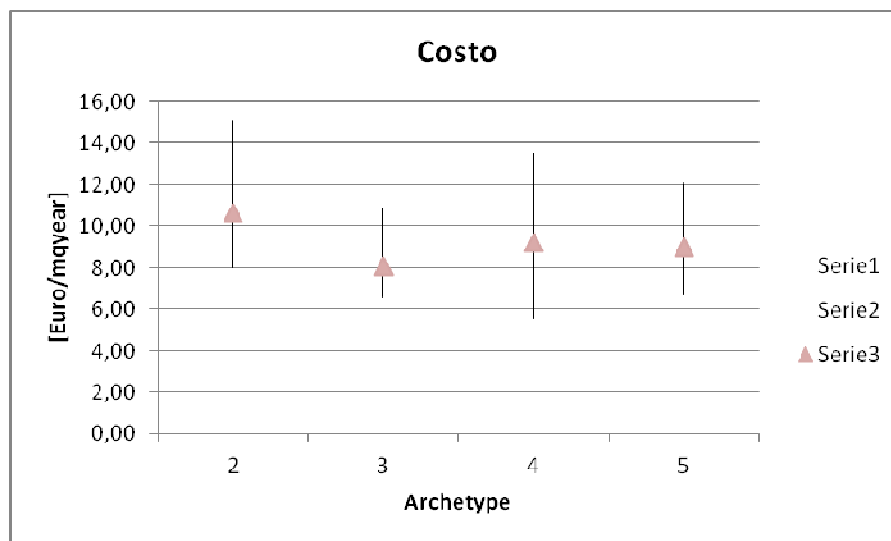



Fig. n°25, range di variazione dei costi operativi per metro quadro di superficie utile

8.5 Conclusioni: il RET come DSS

In questo capitolo si cerca di descrivere in che modo il RET abbia fornito un valido aiuto all'esplicitazione delle relazioni che legano le caratteristiche fisico geometriche degli edifici al loro fabbisogno energetico, partendo dall'analisi della complessità e della numerosità tipiche di un contesto urbano. Il carattere mediato e tipologico dei risultati attesi ha permesso, per i fini meramente esemplificativi di questo studio, di tralasciare alcune imprecisioni ed assunzioni dei dati di input. Tali imprecisioni potranno, per la maggior

parte, essere superate impostando un approfondito studio delle tipologie e con l'apporto degli esperti. Grazie all'importante risultato relativo alla stima dei costi operativi e delle emissioni di CO2 per ogni edificio, RET fornisce alcuni valori di partenza per impostare una corretta valutazione delle ipotesi di trasformazione urbana su criteri di tipo economico (Costo, Tempo di ritorno dell'investimento, ..) e di tipo ambientale (emissione di CO2 annua). La versatilità dello strumento RET e del formato shape file nel quale i risultati sono forniti, permette di impostare letture incrociate con qualunque tematismo territoriale, rendendo il layer del risparmio energetico facilmente integrabile nel quadro della conoscenza che sottende qualunque processo di piano.

Da questa applicazione si evince anche un limite della metodologia, questa è capace di svolgere il calcolo del fabbisogno con dettaglio sub progettuale ma proprio per questo motivo non individua con chiarezza le tendenze medie dello Stato Attuale. A causa della forte variabilità dei risultati (fig. n°8.8, n°8.10, n°8.11, n°8.16, n°8.17) la definizione di comportamenti medi per archetipo produce semplificazioni piuttosto forti che potrebbero portare ad interpretazioni errate dello *Stato Attuale*. Perciò si lascia ad un successivo approfondimento lo sviluppo di efficaci metodologie per l'interpretazione dello *Stato Attuale*. Per esempio, considerando che il fattore forma ha un forte peso nella determinazione del fabbisogno, si potrebbero sviluppare delle letture dello stato attuale combinando gli archetipi con il parametro S/V in modo da studiare le caratteristiche del patrimonio edificato in insiemi più omogenei da punto di vista delle prestazioni energetiche. Un altro modo per limitare la variabilità dei risultati è scegliere fin dall'inizio aree di minore estensione e una maggiore omogeneità tipologica.

Perciò in questa tesi si propone un tool capace di colmare la mancanza di informazioni riguardo il patrimonio edificato ma l'efficace rappresentazione delle sue caratteristiche sarà oggetto di successivo approfondimento.

Capitolo 9

Applicazione: ipotesi progettuali

Lo Stato Attuale costituisce la base per ipotizzare scenari di trasformazione fondati su una conoscenza più approfondita ed orientata sull'area di studio. Esiste una gran quantità di possibili miglioramenti tecnologici che, passando dalle tecnologie più tradizionali e consolidate ed arrivando a soluzioni innovative e di natura sperimentale, delineano un insieme particolarmente variegato di possibilità che il nostro lavoro non può esplorare compiutamente limitandosi ad alcuni casi esemplificativi. In un'applicazione reale sarà il confronto con gli esperti a guidare la selezione di un gruppo più o meno numeroso di tecnologie da inserire negli scenari tramite opportuna modellizzazione. In questo capitolo si presentano alcune applicazioni della metodologia per la costruzione degli scenari basati su tecnologie di larga diffusione per le quali sarà semplice definire le caratteristiche e la modellazione e ci si focalizzerà sull'apporto che lo Stato Attuale può fornire nelle attività di valutazione.
Lo sviluppo dell'applicazione seguirà le fasi già presentate: *Definizione dei possibili miglioramenti tecnici; GIS modelling; Operazioni di filtro; Valutazione delle ipotesi; Identificazione dei fattori critici*. Qui si proporranno due tecnologie, piuttosto diverse, che mostreranno come la flessibilità dello strumento GIS e dello *Stato Attuale* permetta agevolmente la modellazione e la valutazione dei risultati. La prima ipotesi sarà il miglioramento della trasmittanza delle chiusure verticali opache che potrà essere modellizzata a *livello di archetipo* in quanto, per valutarne l'impatto in termini di consumo energetico, basterà variare il paramento U inserito nel calcolo. Invece si proporrà una modellazione a livello territoriale per la definizione del potenziale dei pannelli solari per ACS e fotovoltaici. In questa sede non si potrà effettuare una valutazione che esplori tutti i possibili criteri definibili nel processo decisionale; ci si limiterà a mostrare una semplice valutazione comparata quanto-qualitativa tra le due possibili tecnologie basata su criteri economici e sulla riduzione delle emissioni di Gas serra. Questi due criteri sono probabilmente da ritenersi condivisi a priori, ma nei processi decisionali reali, grazie alla semplice struttura dello stato attuale, si potranno introdurre con facilità altri criteri in base ai quali definire indicatori specifici di varia natura. In questo studio di tesi, però, per motivi di tempo, non si avrà la possibilità di esplorare con compiutezza i criteri e gli indicatori che potrebbero essere sviluppati: si proporrà quindi una valutazione prettamente economica rimandando ad un'altra sede la proposta di altri indicatori riferiti a criteri di tipo differente, come ad esempio quelli paesaggistici o di integrazione architettonica. Lo studio dell'integrazione architettonica, cercando di tutelare il paesaggio urbano dagli impatti derivanti dall'uso di nuove tecnologie, in realtà propone nuovi tipi di installazioni e di sistemi che ampliano lo spettro stesso delle tecnologie utilizzabili (ASTE 2008): se si ipotizza l'uso di un pannello solare integrato nei parapetti dei balconi sarà necessario valutare tra le possibili superfici di installazione, unitamente alla copertura, anche quelle dei

parapetti degli edifici. Perciò tipologie di impianti sempre più integrati ed adattati al contesto richiederà sempre l'inserimento di nuovi e specifici fattori nella modellazione in ambiente GIS.

9.1 Prima Ipotesti: miglioramento dell'isolamento delle strutture opache verticali

9.1.1 Fase prima: definizione dei dati di input

La descrizione dello stato Attuale ha evidenziato che la perdita di calore per trasmissione attraverso le pareti opache è il fattore che maggiormente influenza il fabbisogno netto per riscaldamento degli edifici. Anche se tale influenza non è la stessa per ogni archetipo possiamo ragionevolmente ipotizzare che una politica urbana volta al miglioramento dell'efficienza energetica non possa non considerare di intervenire sugli involucri. Nel nostro capo perciò si è ipotizzato di realizzare un cappotto termico esterno sugli edifici appartenenti ai primi tre archetipi; mentre si è pensato di suggerire l'uso delle tecniche di insufflaggio di materiale isolante sciolto per gli edifici dell'archetipo 5, caratterizzato da murature a cassa vuota. Ora, seguendo lo schema operativo proposto (fig. n°9.1), si definiranno i dettagli riguardo ai dati di input per la valutazione delle soluzioni tecnologiche alternative.

Dati di input per il dimensionamento
R, λ caratteristiche dell'isolante

Dati di output del dimensionamento
Diminuzione dei consumi

Vincoli normativi
Realizzare facciate simili

Vincoli tecnici
Tipo di chiusura verticale
Muratura lapidea: cappotto esterno
Muratura a cassa vuota: insufflazione

Costo di investimento
Costo 1 = 102 euro/mq
Costo 2 = 20 euro/mq

Costo operativo
No

Politiche di supporto esistenti
Sgravio IRPEF del 55% del costo di investimento se U <= 0.34

Fig. 9.1 dati di input

Dati di input per il dimensionamento

Per i fini dello studio non si farà differenza tra i diversi tipi di materiali disponibili nel mercato in quanto le loro prestazioni ed il prezzo sono molto simili. Si ipotizzerà l'uso di un pannello rigido di materiale isolante caratterizzato da una conducibilità termica di 0,034 [W/mk] per il cappotto termico esterno e un isolante sciolto con una conducibilità termica 0,037 [W/mk] per l'insufflazione[1]. Lo spessore dello strato isolante, dal quale dipende l'effettiva efficacia nella diminuzione della U, nel caso del cappotto esterno potrà essere definito in fase di progetto in modo da soddisfare i livelli prestazionali per l'accesso alla detrazione fiscale (tab. n°9.1). Mentre lo spessore di isolante, nel caso di muratura a cassa vuota, è vincolato alle dimensioni dell'intercapedine: fortunatamente le tamponature presenti nell'area di studio presentano spessori medi di 10-12 cm che, nonostante il forte peso dei ponti termici, sono sufficienti a soddisfare il requisito per la detrazione anche in questo caso (tab. n°9.2).

[1] Esistono peculiarità e variazioni di costo tra i diversi tipi di materiali isolanti, che possono guidare nella scelta in sede di progetto; ma per questo studio ci si è riferiti principalmente alla loro capacità prestazionale, lasciando ad approfondimenti di tipo più specialistico la definizione specifica dei materiali da utilizzare in funzione della tipologia edilizia e dei materiali presenti.

Ri	0,13	Re	0,04
Muratura lapidea intonacata	**Spessore strato [m]**	**Conductivity [W/mk]**	**R [mqK/w]**
Intonaco di calce	0,050	0,7	0,071428571
Blocchi calcarei	0,600	1,7	0,352941176
Intonaco di calce	0,050	0,7	0,071428571
			0,665798319
U [W/mq K]			**1,502**
U (ponte termico) [W/mq K]		**0,05**	**1,577**
Muratura lapidea intonacata con pannelli isolanti	**Spessore strato [m]**	**Conductivity [W/mk]**	**R [mqK/w]**
Intonaco di calce	0,050	0,7	0,071428571
Blocchi calcarei	0,600	1,7	0,352941176
Pannelli isolanti	0,090	0,034	2,647058824
Intonaco di calce	0,050	0,7	0,071428571
			3,312857143
U [W/mq K]			**0,302**
U (ponte termico) [W/mq K]		**0,05**	**0,317**

Tab. n°9.1, calcolo della trasmittanza termica delle murature lapidee prima e dopo l'inserimento del cappotto termico esterno.

Ri	0,13	Re	0,04
Muratura a cassa vuota	**Spessore strato [m]**	**Conductivity [W/mk]**	**R [mq K/w]**
Intonaco di malta cementizia	0,025	0,9	0,028
Mattone forato	0,120	0,33	0,364
Intercapedine vuota	0,100		0,180
Mattone forato	0,080	0,33	0,242
Intonaco di malta cementizia	0,025	0,9	0,028
	0,350		0,972
U [W/mq K]			1,029
U (ponte termico) [W/mq K]		0,20	**1,235**
Muratura a cassa vuota con isolante insufflato nella cavità	**Spessore strato [m]**	**Conductivity [W/mk]**	**R [mq K/w]**
Intonaco di malta cementizia	0,025	0,9	0,028
Mattone forato	0,120	0,33	0,364
Intercapedine riempita di isolante	0,100	0,037	2,703
Mattone forato	0,080	0,33	0,242
Intonaco di malta cementizia	0,025	0,9	0,028
	0,350		3,564
U [W/mq K]			**0,281**
U (ponte termico) [W/mq K]		0,20	**0,337**

Tab. n°9.2, calcolo della trasmittanza termica della tamponatura a cassa vuota prima e dopo l'insufflazione dell'isolante

Dati prestazionali preliminari

La diminuzione di trasmittanza determina minori dispersioni di calore attraverso l'involucro e perciò influendo fortemente sul fabbisogno netto; grazie a RET basterà modificare i valori di U inseriti nell'abaco delle murature ed effettuare nuovamente il calcolo per avere una misura dell'efficacia: ossia si confronterà lo stato attuale con lo scenario generato dall'ipotesi.

Costo di realizzazione

Per determinare i costi si è fatto riferimento al prezziario Regionale dei Lavori Pubblici ed ai prezzi medi di mercato rilevati da alcune imprese del settore. Le due soluzioni tecnologiche presentano costi molto diversi che, in linea di massima, si possono ritenere lievemente sovradimensionati perché basati sul prezziario pubblico che viene usato per determinare gli importi oggetto di ribasso nell'aggiudicazione degli appalti pubblici (tab. n°9.3). Al fine di facilitare la modellizzazione in ambiente GIS si è scelto di definire un prezzo al metro quadro di superficie muraria comprensivo di tutte le lavorazioni accessorie e degli oneri. In particolare per il cappotto esterno, in un ottica di esecuzione dei lavori a regola d'arte, si è ipotizzato che fosse necessario la preparazione della parete consistente nella demolizione dell'intonaco fino alla pietra e nel ripristino della base per il pannello isolante (tab. n°9.3)

Costo di gestione:questa tecnologia non ha costi di gestione

Vita utile

In generale la vita utile degli intonaci e delle opere di coibentazione può essere considerata intorno ai 25-30 anni, ma il momento effettivo nel quale avverrà una pesante manutenzione varia in funzione della disponibilità economica dei proprietari e dell'effettivo degrado della struttura (DE PASCALI 2008). Un altro aspetto per noi importate è che questo tipo di soluzioni tecnologiche, in mancanza di politiche di incentivazione, tipicamente tempi di ritorno economici che superano i 20 anni attestandosi su valori di poco inferiori alla vita utile. Ma se si considera il rifacimento degli intonaci delle facciate come una sorta di manutenzione programmata di qualunque immobile ogni 20-30 anni, il costo generato dalla realizzazione del cappotto termico si limita alle opere strettamente legate allo strato di isolante, abbattendo notevolmente i tempi di ritorno dell'investimento. In ogni caso paragonando i due investimenti *rifacimento facciate con isolante o senza isolante,* la seconda ne uscirà sempre perdente in quanto, pur avendo un investimento iniziale quasi dimezzato, non produce alcun reddito rispetto alla condizione iniziale. Naturalmente una valutazione prettamente economica non tiene conto dell'effettiva disponibilità finanziaria dei proprietari e delle loro preferenze personali.

ipotesi 1	**rifacimento della muratura con capotto termico archetipi 2-3-4**			
codici prezziario regionale	**descrizione breve**	**U.misura**	**Prezzo unitario**	**Note**
D.0012.0008.0002	Spicconatura di intonaco a vivo di muro, compreso il trasporto a discarica ed i relativo onere di smaltimento	mq	18,67	
D.0013.0004.0014	RINCOCCIATURA DI PARETI VERTICALI INTERNE ED ESTERNE, eseguita con scaglie di laterizio, di pietre e malta, malta di calce per massimo il 30% della superficie muraria valutata vuoto per pieno	mq	6,88	la rincocciatura non è generalmente necessaria per tutta la superficie muraria
	Fornitura e posa in opera di Cappotto termico esterno in PANNELLI di EPS 30 kg/mc, compresi i fissaggi, la preparazione del fondo e quant'altro necessario ha una realizzazione a regola d'arte	mq		
	spessore 90mm	mq	45	spessore per edifici che non presentano isolamento termico
D.0013.0004.0002	INTONACO ARMATO PER ESTERNI SU PARETI VERTICALI OD ORIZZONTALI, costituito da un primo strato di rinzaffo e da un secondo strato della stessa malta, realizzato su supporto metallico, con malta di calce	mq	14,03	
D.0013.0005.0004	Fornitura e posa in opera di tinteggiatura per pareti esterne a base di grassello di calce	mq	18,5	
	Sovrapprezzo per opere di raccordo con parapetti, finestre, ed altri elementi aggettanti o di decoro	1	5%	Il sovrappreszzo è stato inserito in maniera indifferenziata ma uno studio più approfondito delle lavorazioni necessarie potrebbe portare ad una articolazione per archetipo.
	ipotesi 1 archetipi 2-3-4: cappotto termico esterno da 90mm di isolante	mq	**103,08**	
	ipotesi 2 archetipo 5: insufflazione di isolante sciolto nella cavità muraria da 100 mm	mq	**20,00**	

Tab. n°9.3, computo del costo di realizzazione delle ipotesi

Limiti normativi

Nel caso di rifacimenti di facciate in maniera simile all'originale non esistono particolari limiti se non quelli derivanti dal mantenere il tipo di facciata stesso: alcune tipologie di facciate potrebbero essere per loro stessa natura poco efficienti ai fini energetici. Per esempio un edificio con una sovrabbondanza di strutture aggettanti o con la struttura portante a vista (archetipo 5), limiterà sempre l'efficacia dell'isolamento termico e non sarà preservato da spiacevoli fenomeni di condensa interna. Ancora, facciate prive di aggetti, a seconda del loro orientamento azimutale, potrebbero essere troppo soggette all'irraggiamento solare estivo con forte diminuzione del comfort interno ed aumento del fabbisogno netto per la climatizzazione. Nelle politiche urbane di risparmio energetico si potrebbero favorire anche consistenti modifiche delle

facciate mirate all'incremento dell'efficienza energetica, magari indirizzando le proposte progettuali verso soluzioni architettonicamente compatibili o armonizzate in maniera specifica per le diverse parti di città.

Limiti tecnici

Per quanto riguarda il capotto esterno non esistono particolari limiti tecnici in quanto la tecnologia è molto semplice e praticamente sempre applicabile. Per la muratura a cassa vuota però si è proposto il sistema dell'insufflazione di materiale isolante sciolto in quanto con un costo molto inferiore è in grado di ottenere lo stesso risultato del capotto esterno.

Limiti gestionali

Questa tecnologia non ha limiti gestionali poiché una volta realizzata non necessita né di manutenzione e né di intervento umano per garantire la sua funzione. L'unico limite potrebbe essere riferito alla sua stessa realizzazione: nei grossi condomini ottenere l'unanimità per la realizzazione del cappotto termico esterno può essere molto difficile, soprattutto se ciò comporta ingenti spese aggiuntive. Spesso i proprietari ripiegano sul cappotto termico interno per il quale non è necessario il benestare del condominio; questo però non garantisce le stesse prestazioni dell'esterno: riduce la superficie utile; se non adottato dagli appartamenti confinanti amplifica l'effetto dei ponti termici; può generare fenomeni di insalubrità dell'ambiente interno.

Incentivi

Per quanto riguarda le opere di miglioramento dell'involucro esiste un regime di incentivazione nazionale basato sulla detrazione dalle imposte sui redditi (Irpef o Ires) pari al 55% delle spese sostenute, entro un limite massimo che varia a seconda della tipologia dell'intervento eseguito. Senza entrare nei dettagli che disciplinano l'accesso alla detrazione, si riportano qui i parametri più importanti da tenere in considerazione per la nostra ipotesi progettuale: nel caso di interventi sugli involucri di edifici esistenti ogni unità abitativa può accedere ad un massimo di 60.000 euro di detrazione da dividere in 10 anni contributivi; i costi relativi alla realizzazione di un cappotto termico sono detraibili se la chiusura verticale rispetta i requisiti di trasmittanza U [W/mqK], definiti dal decreto del Ministro dello Sviluppo economico dell'11 marzo 2008 e successivamente modificati dal decreto 6 gennaio 2010: ossia nel nostro caso a seguito dell'intervento si deve ottenere una U<=0,34 W/mqK. Questo regime di incentivazione in pratica genera un flusso di denaro positivo costante per 10 anni, la cui somma sarà il 55% del costo dell'opera.

9.1.2 Fase seconda: GIS modelling

Per questo tipo di tecnologia il suo inserimento nello stato di fatto è particolarmente facilitato dalla struttura di RET: in definitiva, per quanto riguarda tutti gli elementi che influenzano le prestazioni energetiche dell'edificio, la simulazione consisterà nella semplice variazione dei parametri corrispondenti nel calcolo del modello. Nel nostro caso si inserirà tra gli abachi delle strutture il nuovo valore di U delle murature e si effettuerà di nuovo il calcolo definendo uno stato di progetto dove si avrà la diminuzione del

fabbisogno netto e di EP che tiene conto del nuovo valore di U. Dai nuovi fabbisogni si definirà un nuovo costo operativo annuo, i livelli di emissione di CO_2 raggiunti e la classe energetica, in modo da poter confrontare lo stato attuale con quello di progetto. Per determinare i costi dell'investimento in ogni edificio si adotterà la semplice moltiplicazione del prezzo al metro quadro della lavorazione per la superficie esterna, già definita per il calcolo delle perdite per trasmissione. In questo stesso modo, ossia sfruttando una modellizzazione a livello di archetipo, si potrà operare per simulare l'impatto di qualunque cambiamento dello stato attuale non solo per quanto riguarda l'involucro ma anche gli impianti e le schermature solari.

9.1.3 Operazioni di filtro (fase 3)

In questo tipo di modellizzazione le operazioni di filtro sono generalmente effettuate già nella definizione stessa delle ipotesi di intervento in funzione dell'archetipo. Però nulla vieta che si possano effettuare altre selezioni in base a parametri ritenuti significativi in sede decisionale: per esempio potrebbero essere posti tetti massimi di spesa per unità abitativa, oppure potrebbero essere eliminati tutti gli edifici che mostrano alti costi in relazione alle emissioni di CO2 risparmiate. Queste operazioni di selezione e filtraggio possono essere fatte anche tramite le capacità di analisi spaziale proprie del GIS, per esempio eliminando tutti gi edifici all'interno di un range di distanza da un luogo di pregio.

9.1.4 Valutazione delle ipotesi (fase 4)

La prima valutazione verrà svolta tra l'ipotesi progettuale e lo Stato Attuale, determinando la diminuzione di costo e di emissioni che l'ipotesi può generare; successivamente si confronteranno le performance che si possono raggiungere nei diversi archetipi. In altre parole si effettuerà una valutazione economica del tempo di ritorno dell'investimento su ogni archetipo e la si confronterà con le emissioni risparmiate ed i costi di investimento.

Nella valutazione dell'investimento si deve tenere conto di tre flussi di cassa: il flusso di cassa negativo del costo iniziale calcolato direttamente per ogni edificio tramite GIS con la moltiplicazione del costo unitario per la superficie esterna; il flusso di cassa positivo generato dalla detrazione IRPEF del 55% dell'investimento diviso in 10 anni contributivi; il flusso di cassa positivo del risparmio energetico generato dal minore fabbisogno. I flussi di cassa sono stati confrontati su un orizzonte temporale di 20 anni, tenendo conto di un aumento annuo del costo dell'energia del 5%, responsabile dell'andamento crescente dei flussi generati dal risparmio energetico, e utilizzando un tasso di sconto degli investimenti dell'1,5%[2]. L'orizzonte temporale, pur essendo generalmente inferiore alla vita utile dell'opera, è probabilmente il limite massimo per il quale è possibile proporre un investimento ad un privato cittadino. Anche in questo caso sarà

[2] A fini esemplificativi è stato usato il tasso di sconto proposto dalla Banca Centrale Europea (http://www.rivaluta.it/tabellatus.htm), ma per una valutazione reale si dovranno effettuare studi più specifici.

necessario estrapolare informazioni in qualche modo tipizzate, in quanto effettuare semplicemente il calcolo su ogni edificio dell'area non sintetizza la conoscenza necessaria in un processo decisionale. Perciò si propone un'analisi simile a quella svolta per la definizione dello stato attuale essenzialmente mirata ad esplicitare le differenza tra archetipi; ma, in linea generale sfruttando la dimensione spaziale dei risultati si potrebbe anche indagare su eventuali trends dipendenti dalla localizzazione specifica degli edifici all'interno della città.

Abbiamo quindi effettuato un calcolo del tempo di ritorno dell'investimento (fig. n°9.2 e n°9.3) che ha mostrato che le tipologie 3 e 4 hanno PBT di poco superiori ai 10 anni anche se, vista l'ampiezza dei valori ottenuti, dipenderà molto dalla specifica configurazione di ogni edificio. Come era abbastanza ovvio supporre la tipologia 5, che utilizza una tecnologia molto più economica, mostra bassissimi tempi di ritorno, mentre la tipologia 2, dove l'incidenza delle dispersioni dalle murature è minore, mostra i tempi maggiori (fig. n°9.3 e n°9.4). Si è calcolato quindi il costo al metro quadro di superficie utile che permetterà di confrontare in base a un criterio prettamente economico anche ipotesi progettuali diverse tra loro (fig. n°9.5). Questo confronto mostra come il costo più alto al mq si abbia della tipologia 4, probabilmente perché questi edifici hanno generalmente forme planimetriche più articolate rispetto agli altri. Partendo da un criterio di tipo ambientale si è sintetizzato un indicatore che mette in relazione il costo dell'investimento con la diminuzione delle emissioni:si riscontrano mediamenete valori poco al di sopra dei 10 euro per le prime tre tipologie e valori decisamente inferiori per l'archetipo 5 (fig. n°9.6). Di particolare utilità potrebbe poi essere il calcolo del costo dell'investimento per unità immobiliare, che rappresenta l'impegno finanziario di ogni singola famiglia presente nell'edificio, naturalmente tralasciando le eventuali ripartizioni millesimali dei regolamenti condominiali (fig. n°9.7). Infatti per tutti gli archetipi, tranne il 5, i costi per unità abitativa sono molto ingenti per la tipologia 4, in cui il prezzo medio supera i 10.000 euro, somma che non sempre i nuclei familiari sono disposti a spendere. Questo infatti sarà uno dei principali elementi critici di questa ipotesi progettuale.

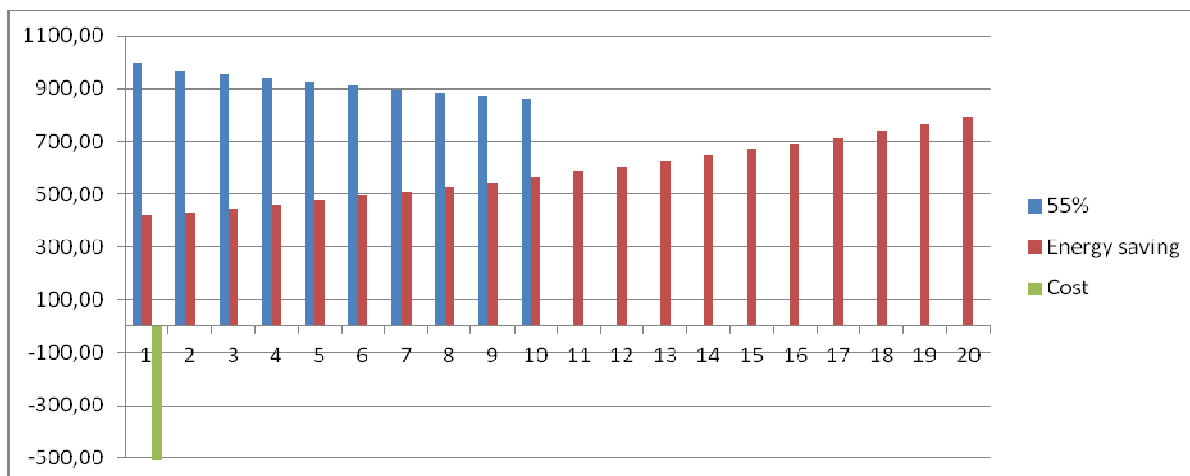



Fig. n°9.2, grafico dei flussi di cassa tipico per questa ipotesi progettuale: in blu il risparmio dovuto alle detrazioni IRPEF, decrescente per l'influsso del tasso di sconto del denaro; in rosso il flusso monetario relativo al risparmio di energia generato dalle migliori prestazioni dell'involucro; in verde il flusso negativo del costo iniziale molto maggiore dei flussi positivi.

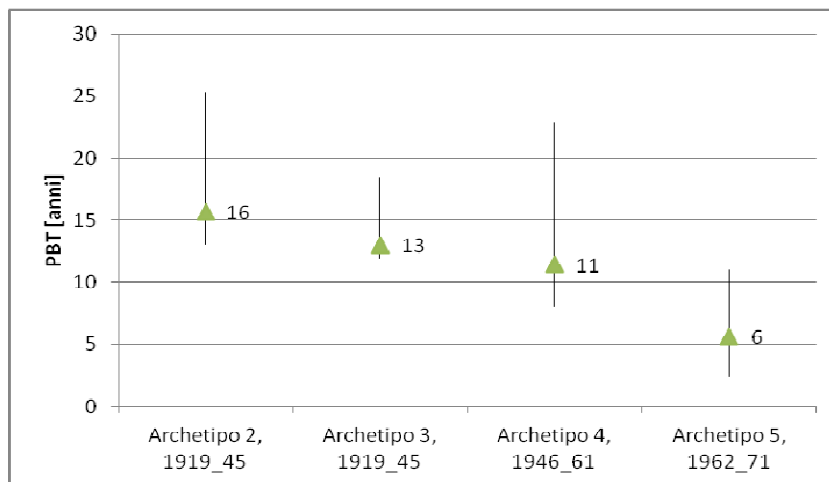



Fig. n°9.3, Tempi di ritorno dell'investimento nei diversi archetipi

PBT: archetype 2

PBT: archetype 3

PBT: archetype 4

PBT: archetype 5

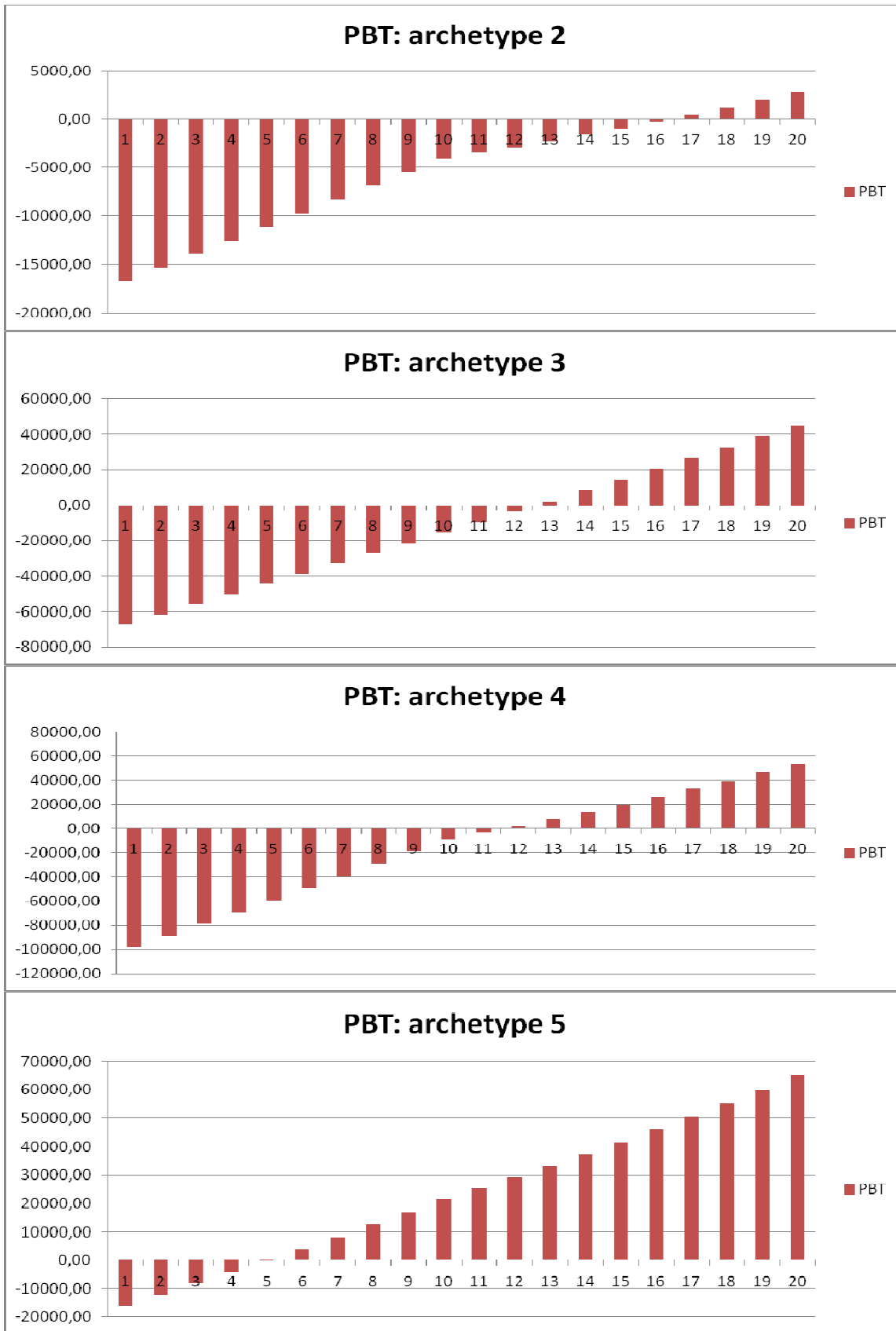



Fig. n°9.4, tempi di ritorno dell'investimo medi per archetipo

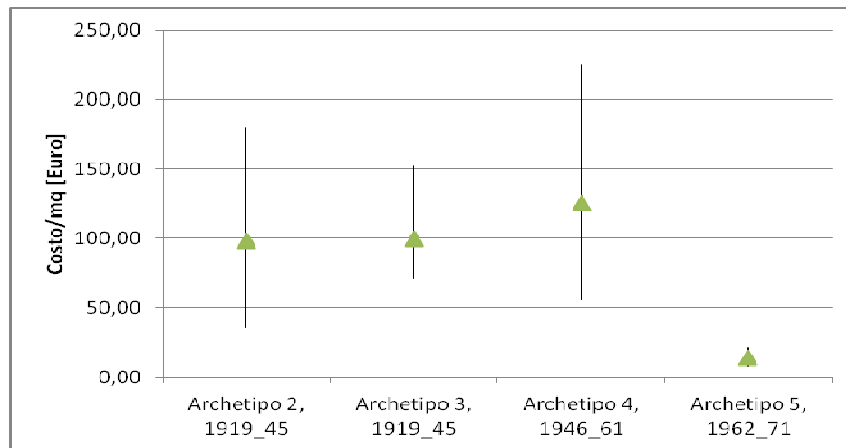



Fig. n°9.5, costo dell'investimento per mq nei diversi archetipi

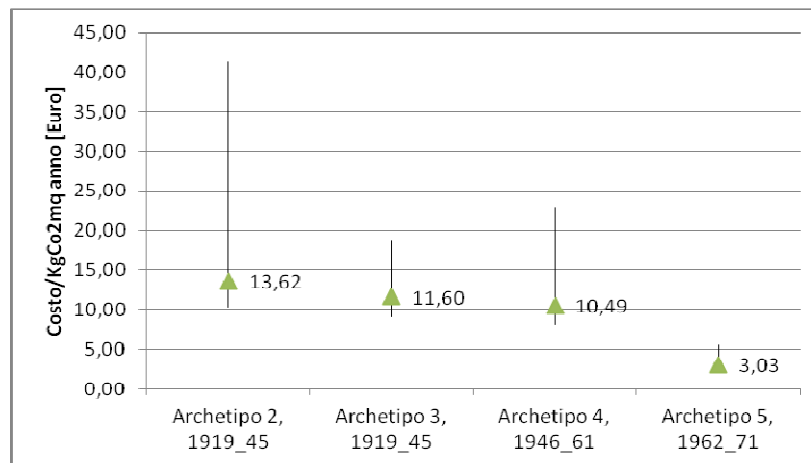



Fig. n°9.6, costo della CO2 risparmiata per mq di superficie utile nei diversi archetipi

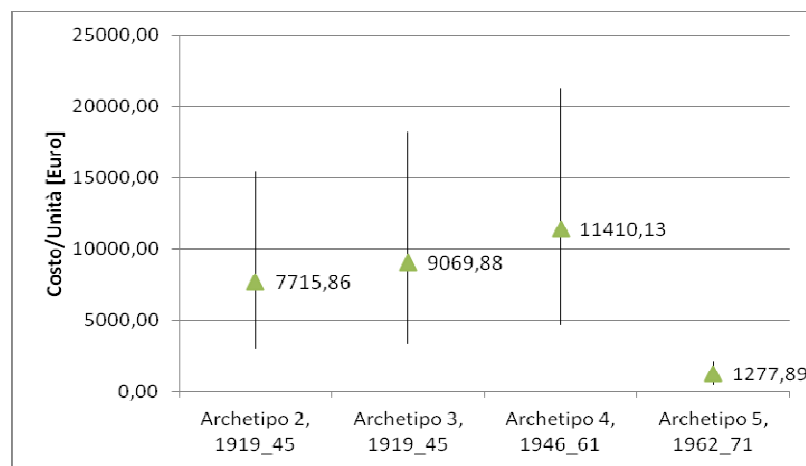



Fig. n°9.7, costo dell'investimento per unità abitativa nei diversi archetipi

Anche questi indicatori possono essere studiati nelle loro reciproche relazioni di dipendenza o integrati con altri tematismi territoriali; qui, similmente a quanto mostrato per lo studio dello Stato Attuale, si riporta nei grafici la correlazione tra la CO2 risparmiata ((emissioni$CO2_{post}$- emissioni$CO2_{ante}$)/ emissioni$CO2_{ante}$) ed il costo di investimento metro quadro di superficie utile nei diversi archetipi (fig. n°9.8). La relazione tra le due variabili indica chiaramente che al maggior costo al metro quadro corrisponde la maggiore diminuzione delle emissioni, inoltre, pur riscontrando una certa dispersione nei risultati, si potrebbero quasi individuare delle tendenze lineari che legano le due quantità in maniera caratteristica per ogni archetipo (fig. n°9.8). Le due variabili non mostrano alti valori di correlazione tranne che per l'archetipo 2 (fig. n°9.8) dove la forma dell'involucro è molto costante e caratteristica; è perciò possibile che un'articolazione degli archetipi che tenga conto anche di un parametro di forma potrebbe portare a delle relazioni più esplicite e quindi a risultati più rilevanti. Gli andamenti (fig. n°9.8) sono giustificati dal fatto che tanto la diminuzione delle emissioni quanto il costo di realizzazione dell'opera sono dipendenti dalla superficie muraria disperdente, ossia: se un edificio è caratterizzato da una limitata superficie muraria disperdente l'investimento iniziale sarà basso, ma anche il peso della struttura muraria nel calcolo delle dispersioni di calore sarà inferiore, perciò il beneficio in termini di riduzione di emissioni di gas serra sarà limitato. Grazie alla dimensione spaziale della informazione possiamo anche valutare visivamente l'impatto della ipotesi sui consumi (fig. n°9.9) e, sommando le emissioni ante e post operam di tutta l'area, siamo anche in grado di dare una valutazione globale della diminuzione delle emissioni che nel nostro caso si attesta su un valore prossimo al 24% del fabbisogno totale.

Fig. n°9.8, diagrammi della relazione tra la diminuzione della CO_2 ed il costo per mq, valutata per ogni archetipo. Nel grafico è riportata anche la retta di regressione che mostra la correlazione delle due variabili.

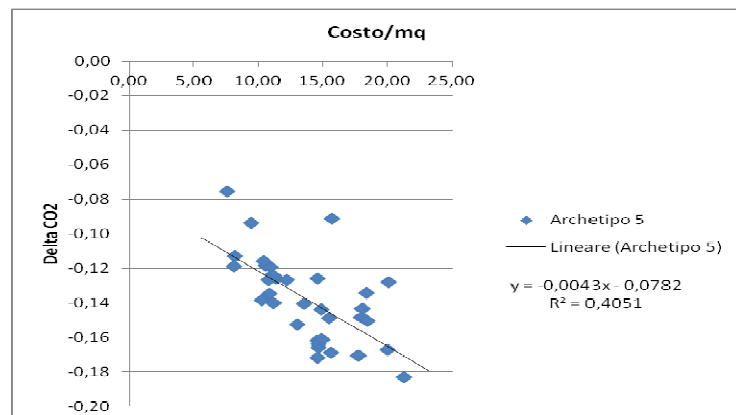
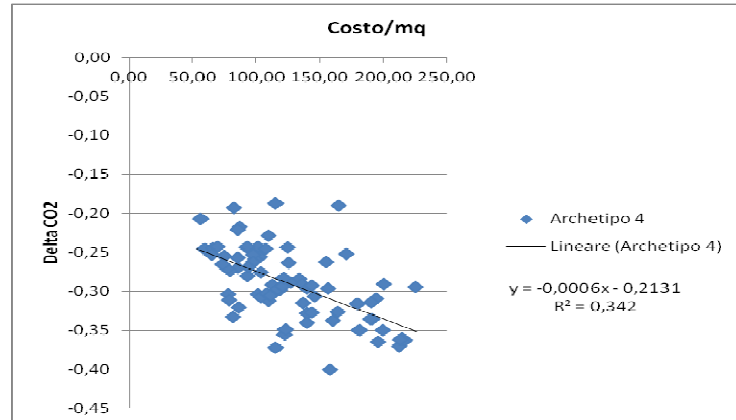
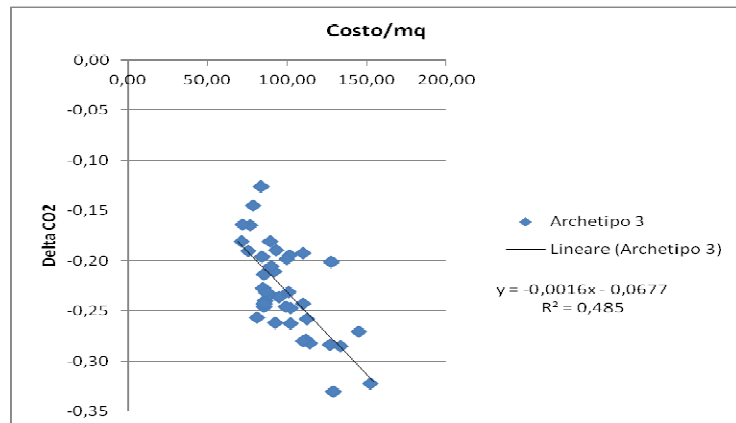
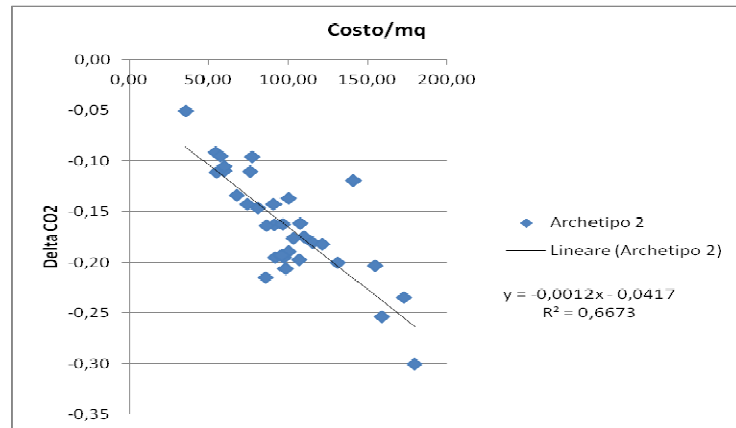
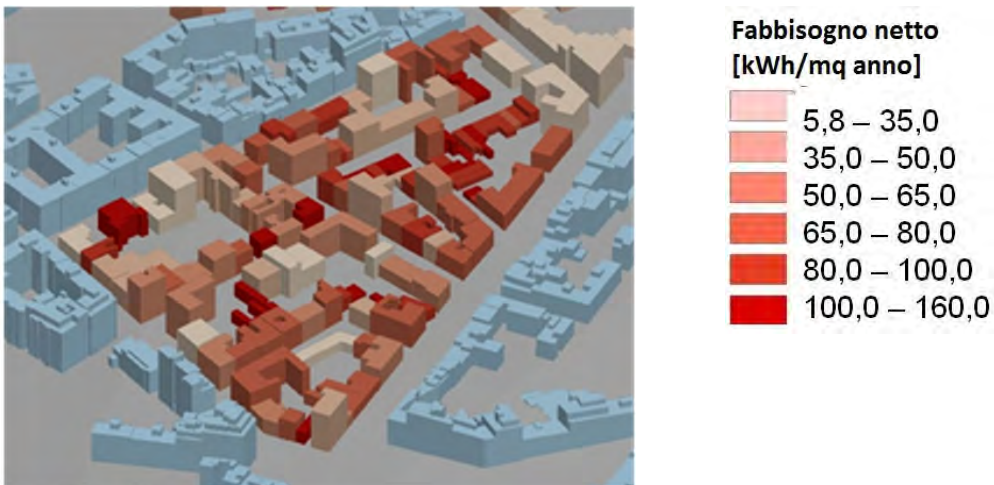
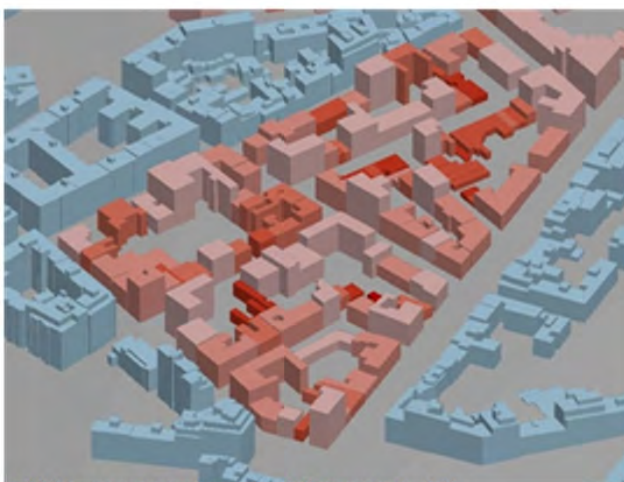
Fabbisogno netto
[kWh/mq anno]
5,8 – 35,0
35,0 – 50,0
50,0 – 65,0
65,0 – 80,0
80,0 – 100,0
100,0 – 160,0

Fabbisogno netto, Stato Attuale

Fabbisogno netto, dopo il miglioramento della trasmittanza degli involucri

Fig. n°9.9, rappresentazione visiva dei fabbisogni netti nello Stato Attuale e con l'ipotesi progettuale relativa all'aumento della trasmittanza delle murature.

9.1.5 Identificazione dei fattori critici (fase 5-6)

In questo paragrafo si discuterà circa i fattori critici che si sono potuti individuare grazie all'analisi dei risultati della valutazione; in base a questi si proverà ad ipotizzare alcune soluzioni per superarne le limitazioni. Ossia facendo riferimento al processo iterativo schematizzato nel framework della costruzione degli scenari (fig. n°4.1) si proverà a tornare indietro nel processo cambiando alcune caratteristiche della proposta progettuale e, sempre con l'aiuto di RET, effettuare una nuova valutazione.

Abbiamo già accennato ai fattori limitativi dell'ipotesi progettuale sviluppata in questi paragrafi: essa, pur consentendo una diminuzione consistente delle emissioni di gas serra, è caratterizzata da alti costi di investimento che generano PBT ben oltre i dieci anni. Naturalmente fa eccezione l'archetipo 5 i cui bassi costi di investimento e la relativa facilità di realizzazione rendono l'ipotesi particolarmente appetibile dal

punto di vista dei privati proprietari degli immobili. In realtà tale valutazione non è propriamente corretta: l'ipotesi progettuale dei primi tre archetipi non risponde solo alla necessità di limitare le dispersioni di calore, ma rinnova anche la facciata dell'edificio; mentre l'ipotesi relativa all'archetipo 5 non interviene sulle superfici esterne dell'edifico. Noi sappiamo che una parte non trascurabile degli edifici dell'area necessitano di interventi, più o meno urgenti, per la manutenzione delle superfici intonacate delle facciate[3]. In base al sopralluogo svolto, si può supporre che tale condizione di degrado sia trasversale nelle tipologie prese in considerazione in quanto tutte hanno una vetustà tale da mostrare evidenti segni di degrado degli intonaci e dei copri ferri qualora non siano stati sottoposti a ripristino in anni recenti. Perciò si può ragionevolmente supporre che buona parte degli edifici dovrà essere sottoposta ad una manutenzione più o meno pesante delle facciate nell'arco dei prossimi 10 anni. Per ora non siamo in grado di avere un dato quantitativo verosimile al riguardo, ma il nuovo censimento ISTAT potrebbe fornire una informazione più aggiornata; oppure, nello studio delle tipologie edilizie, si potrebbe anche inserire un parametro relativo allo stato di conservazione dell'edificio che risulterebbe utile a vario titolo nel processo decisionale.

Nell'ambito del nostro studio esemplificativo, possiamo supporre che nell'arco di 10 anni gli edifici appartenenti agli archetipi selezionati necessiteranno di rinnovare le facciate; perciò il ripristino della facciata diventerà un costo fisso che ogni edificio dovrà sostenere all'interno del periodo scelto per la valutazione economica dell'ipotesi progettuale. In quest'ottica, l'archetipo 5 si trova caricato dei costi aggiuntivi per il rifacimento della facciata che invece gli altri archetipi hanno già sostenuto all'interno dell'ipotesi progettuale. A tal fine, quindi, si è effettuato un nuovo confronto variando il prezzo al metro quadro dell'archetipo 5 aggiungendo anche il costo della manutenzione della facciata che, a questo punto, può essere considerata come una sorta di manutenzione programmata. In questo caso però definire a priori il prezzo unitario ha delle complicazioni generate dalla variabilità del tipo di finitura superficiale: in questo tipo di edifici le facciate possono essere intonacate, protette da tessere ceramiche, avere mattoni faccia a vista ed inoltre la presenza di balconi ed aggetti può generare forti aumenti di costo rispetto ad una facciata più regolare. Si è ipotizzata perciò una semplice superficie intonacata parzialmente degradata con presenza di elementi aggettanti in CA che necessitano di un parziale ripristino del copri ferro per un costo unitario di circa 60 euro (tab. n°9.4). Perciò inserendo la manutenzione della facciata anche nell'archetipo 5 si sono calcolati i PBT ottenendo una situazione piuttosto differente: pur avendo un costo al metro quadro inferiore[4] l'archetipo 5 mostra tempi di ritorno simili all'archetipo 2 a causa dello scarso peso della muratura nelle perdite di calore (fig. n°9.10) e la maggiore incidenza delle superfici esterne per metro quadro di superficie utile. Da quanto detto però, se consideriamo la manutenzione delle facciate un costo programmato di ogni immobile nell'arco temporale considerato, l'investimento si riduce al solo

[3]Il Censimento della Popolazione e delle Abitazioni (ISTAT, 2001) riporta che più del 20% degli edifici dell'area non versa in buone condizioni di conservazione

[4] Circa 80 euro considerando la manutenzione della facciata e l'insufflazione di isolante nell'intercapedine contro i 103 degli altri archetipi.

sovrapprezzo per il miglioramento delle prestazioni dell'involucro, ricalcolando i PBT con questa ragionevole ipotesi si ottengono risultati decisamente più accettabili (fig. n°9.11).

codici prezziario regionale	**Descrizione breve**	**U.misura**	**Prezzo unitario**	**Note**
D.0012.002 1.0014	Revisione completa di intonaci con fenomeni di degrado di uso riguardanti fino al 30% dell'intera superficie, [...] da misurarsi "vuoto per pieno" sulla super cie complessiva fatta eccezione per le aperture di superficie superiore a 4 m2	mq	31,84	
D.0012.002 4.0003	Risanamento di calcestruzzo mediante le seguenti lavorazioni: demolizioni di tutte le parti friabili; spazzolatura manuale o meccanica delle armature; applicazione di malta cementizia anticorrosiva per il trattamento anticorrosivo e la protezione di ferri di armatura; ripristino volumetrico e strutturale con malta cementizia tixotropica fibrorinforzata pronta all'uso per riprese e stuccature a spessore, fibrorinforzata [...]Per spessori fino a a 5 cm e trattamenti isolati di superfici superiori a 3 dm2.	mq	93,81	Si ipotizza una incidenza di un mq di questa lavorazione ogni 4 mq di superficie di facciata: si tratta di balconi di un metro di profondità con parapetto di un metro di altezza che occupano circa il 60% delle facciate principali dell'edificio.
	totale lavorazione	**mq**	**55,29**	

Tab. n°9.4, computo del costo di realizzazione delle ipotesi

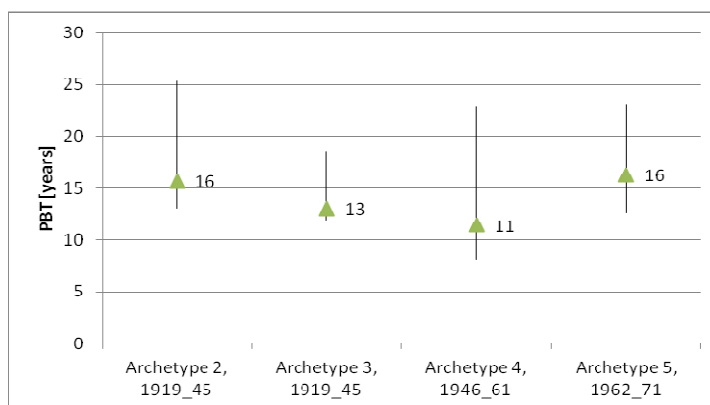



Fig. n°10, Tempi di ritorno dell'investimento nei diversi archetipi, con l'inserimento della manutenzione della facciata nella lavorazione ipotizzata per l'archetipo 5.

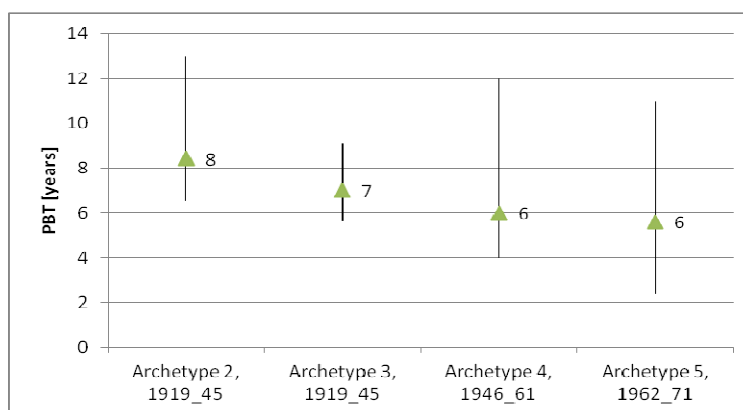



Fig. n°9.10, Tempi di ritorno dell'investimento nei diversi archetipi, considerando la manutenzione della facciate un costo programmato nei prossimi 20 anni per tutti gli edifici.

Come si sta cercando di dimostrare, anche sulla base di una valutazione prettamente economica, a seconda dei termini considerati i risultati possono variare molto; ma se si cambia proprio il punto di vista spostandolo da quello del singolo proprietario, utilizzato fino ad ora, a quello della pubblica amministrazione, gli elementi di valore possono capovolgersi. L'amministrazione che vuole disegnare una politica di incentivazione per il miglioramento delle prestazioni dell'involucro non è tanto interessata ai costi sostenuti dai singoli proprietari quanto alla diminuzione delle emissioni di CO_2 ed al mantenimento o al miglioramento della qualità architettonica urbana. Perciò una ipotetica politica urbana potrebbe favorire la manutenzione delle facciate centrando il duplice obiettivo di migliorare l'efficienza degli involucri e di rinnovare l'aspetto di parti di città. L'amministrazione potrebbe considerare che l'ipotesi di intervento prospettata nell'archetipo 5 sia già sufficientemente attrattiva per il singolo proprietario e favorire con incentivi monetari o normativi solo le proposte che comportino il ripristino delle facciate. Questa tesi non è la sede per uno studio dettagliato delle possibili azioni che l'amministrazione può porre in essere; qui si vuole solo rimarcare come usando lo strumento RET si sia potuto simulare l'effetto di alcune semplici ipotesi di trasformazione dello *Stato Attuale* e come le ipotesi iniziali si siano potute raffinare iterativamente anche grazie alla capacità intrinseche di simulazione dello strumento.

9.2 Seconda Ipotesi: il potenziale dei pannelli solari

In questa ipotesi non si arriverà a effettuare una vera e propria analisi economica, come in parte mostrato nel paragrafo precedente, ma si mostrerà come la struttura molto semplice dello stato di fatto unitamente alle capacità di analisi spaziale dello strumento GIS, sia in grado di integrare studi di natura diversa. In questo capitolo si valuterà il potenziale di utilizzo dei pannelli solari fotovoltaici e termici in una piccola parte dell'area di studio[5] (fig. n°9.11) e lo si confronterà coi fabbisogni di ACS ed elettrici di ogni edificio.

[5] Si è dovuto svolgere lo studio su un area ristretta per limitare il calcolo computazionale di una fase di questa applicazione perche per motivi di licenza dei tool utilizzati è stato necessario utilizzare un personal computer di limitate prestazioni.

Questa applicazione seguirà lo schema di lavoro utilizzato per la precedente, senza però arrivare alla determinazione dei costi ed alla valutazione degli investimenti, ma mostrerà un tipo di modellazione a *livello territoriale* in questo caso caratterizzato da una certa complessità.

Fig. n°9.11, vista dell'area di studio (Bing Maps) si nota la forte disomogeneità delle coperture.

9.2.1 Fase prima: definizione dei dati di input

I dati di input verranno definiti cercando di dare una panoramica delle peculiarità di queste tecnologie in maniera completa, anche se poi l'effettivo sviluppo dell'applicazione arriverà solo allo studio del possibile soddisfacimento dei consumi. Questo tipo di tecnologia dipende essenzialmente da tre parametri: la quantità di energia solare incidente sulla superficie captante, l'efficienza con cui la tecnologia è in grado di sfruttare questo contributo gratuito e, naturalmente, l'estensione della superficie captante.

L'applicazione farà riferimento a due grandi famiglie di pannelli solari: quelli fotovoltaici (PV) per la produzione di energia elettrica e quelli solari termici (HW) per la produzione di acqua calda sanitaria. Le due tecnologie hanno caratteristiche profondamente diverse che ne definiscono i rendimenti e le peculiarità, ma il dato di input che le accomuna è il valore dell'irraggiamento solare incidente sulla superficie captante.

Dati di input per il dimensionamento

Valore dell'irraggiamento sulla superficie captante: per ottenere questo valore, posto che non è possibile la misurazione diretta su ogni tetto della città, si dovranno utilizzare modelli di trasposizione capaci di stimarlo in base alla latitudine della località, l'orientamento azimutale, l'angolo zenitale e l'eventuale ombreggiamento della superficie captante di ogni edificio. Oltre a questi parametri, per ogni edificio dell'area di studio si dovrà definire l'intervallo temporale in base a cui calcolare l'energia solare fornita:

infatti i modelli, partendo da una serie di valori istantanei dipendenti dai dati di input, forniscono un valore cumulato per un lasso di tempo definito.

Per quanto riguarda i sistemi PV, il dato di irraggiamento può essere determinato sulla semplice base annuale, in quanto noi considereremo solo i più comuni sistemi integrati con la rete elettrica nazionale che non risentono delle differenze stagionali. In tali sistemi viene contabilizzata l'energia che l'impianto fornisce alla rete in maniera discontinua, scontandola dai costi per approvvigionamento energetico dell'edificio che invece avviene con continuità. Ossia la stessa rete si comporta da serbatoio di energia cui gli utilizzatori possono attingere e nel quale riversano l'energia prodotta dai loro impianti.

Nel caso del sistema solare termico, al contrario, si è molto legati alla disponibilità giornaliera di energia solare: il sistema utilizza l'energia solare per riscaldare l'acqua, o il fluido termo vettore, che conserva in serbatoi termici, cui attingere per gli usi sanitari. Ciò significa che in linea generale con una buona esposizione nelle stagioni calde il sistema sarà in grado di fornire una quantità più che sufficiente di acqua calda, mentre nella stagione invernale è quasi sempre necessario integrare la produzione con sistemi tradizionali come bollitori elettrici o a GAS. Le tecnologie attuali, però, permettono di limitare notevolmente la necessità dell'integrazione invernale grazie a sistemi particolarmente efficienti ad un conveniente dimensionamento della capienza del serbatoio; perciò, anche in virtù dello scopo dimostrativo di questa applicazione, si propone di utilizzare il calcolo su base annuale anche per questa tecnologia. Tale semplificazione su base annuale è, per altro, assunta anche dallo stesso strumento semplificato DOCET per la valutazione del contributo dei pannelli solari termici e PV; la parte 4 della UNI 11300, ancora in via di redazione, specificherà i metodi per la valutazione standard del contributo dei più comuni sistemi di produzione da FER al bilancio energetico dell'edificio.

In accordo con una delle ipotesi iniziali di questo studio che supponeva una limitata disponibilità di dati territoriali, i dati riferiti all'orientamento ed all'inclinazione della superficie sono stati inseriti manualmente in base alla semplice osservazione delle foto aeree di Bing Maps. L'approccio può essere giustificabile in caso di assenza di dati riguardo la geometria delle coperture, ma sovente per i centri urbani sono disponibili modelli digitali del terreno o cartografie piuttosto dettagliate da cui ricavare geometrie ed orientamenti più precisi sui quali, con adeguati tool, impostare il calcolo dell'energia solare incidente[6].

Superficie captante

Definire a priori la superficie captante di una possibile installazione non è semplice in quanto non dipende solo dalle caratteristiche morfologiche della copertura ma anche della volontà di investimento del singolo

[6]Per esempio Robinson integra in CitySim (2009) il modello di trasposizione RADIANCE (STONE 2005) capace di calcolare con precisione l'energia solare incidente sulle superfici degli edifici partendo da un modello vettoriale tridimensionale della città.

proprietario. Non potendo in questa sede[7] conoscere tale volontà, si definirà la superficie captante come la massima utilizzabile per l'installazione dei pannelli solari nella copertura presa in considerazione: perciò si parlerà di potenziale della tecnologia tralasciando la componente umana dalla valutazione di questo fattore. Per definire questo dato si utilizzerà direttamente un valore a percentuale da applicare alla superficie del poligono che definisce la copertura: 50% in caso di copertura inclinata; per le coperture piane una percentuale stimata sempre a seguito della osservazione di Bing Maps, che ha come massimo valore l'80% per tenere conto della superficie libera che si deve comunque garantire per la manutenzione e l'accesso. Nel nostro caso la stima della superficie utilizzabile sarà perciò piuttosto arbitraria, perché in realtà la quantità di superficie di copertura utilizzabile varia molto a seconda del tipo di installazione dell'impianto: su sostegni inclinati direttamente fissati al pavimento; su tettoie che permettano di non perdere la superficie utile della copertura piana, o direttamente sulla falda della copertura inclinata. Inoltre molte coperture, specialmente quelle dove è presente un piano attico, non sono definibili semplicemente come piane o inclinate perché mostrano geometrie piuttosto varie con falde di diverso orientamento e superfici piane non facilmente utilizzabili per l'installazione degli impianti.

Efficienza della tecnologia PV

Gli parti dell'impianto possono a grandi linee identificarsi nel campo fotovoltaico, ossia i pannelli, e nell'inverter con i sistemi di contabilizzazione; ogni elemento è caratterizzato dai propri rendimenti che, nel complesso, definiscono l'efficienza dell'impianto. L'elemento che però tra questi ha più peso nella determinazione della efficienza dell'intero sistema è il tipo di pannello utilizzato articolabile in tre tipologie: silicio monocristallino, il più costoso ed efficiente (circa 14% di efficienza), silicio policristallino meno costoso del primo e ormai caratterizzato da efficienze molto simili (circa il 12-13%) e silicio amorfo costituito da una membrana sottile e flessibile poco influenzata dall'ombreggiamento e adatta all'integrazione architettonica ma caratterizzato da bassa efficienza (circa il 6%) (COIANTE 2006, COCCO 2009). Tra questi, i primi due sono largamente i più diffusi, perciò noi considereremo un'efficienza di conversione dell'energia solare incidente in energia elettrica del 14%. In sede di progettazione esecutiva di questi impianti esistono molte soluzioni tecnologiche che possono aumentare parzialmente il rendimento o diminuire l'influenza dell'ombreggiamento sul campo fotovoltaico, ma i valori indicati sono ampiamente utilizzati in sede di studio preliminare di fattibilità degli impianti.

Efficienza della tecnologia HW

In questo caso, non è semplice definire con precisione l'efficienza dell'impianto, in quanto esistono scelte progettuali a monte che incidono notevolmente su tale valore. Gli elementi principali che determinano

[7] Minghetti ed altri (2010) propone un portale web per la stima dell'energia solare disponibile sulle coperture degli edifici dove l'applicazione richiede direttamente all'utente la percentuale di copertura che vorrebbe o potrebbe occupare con i pannelli solari fornendo in cambio il calcolo della energia potenziale sfruttabile nel proprio edificio.

l'efficienza globale dell'impianto sono: i pannelli solari che trasferiscono il calore per irraggiamento al fluido termo vettore; il serbatoio in cui viene conservato il fluido, caratterizzato dal volume e dalla capacità di trattenere il calore, e, naturalmente l'ambiente in cui si trova il serbatoio stesso. La scelta del tipo di pannelli e della capacità del serbatoio, generalmente effettuata in funzione del clima e delle esigenze dell'utenza, determina in larga parte l'efficienza de sistema. Per la valutazione preliminare degli investimenti generalmente si utilizza un'efficienza globale del sistema del 60% per impianti basati su pannelli non vetrati e dell'80% per quelli vetrati (COIANTE 2006, COCCO 2009).

Fabbisogno di ACS

In sede di dimensionamento preliminare dell'impianto, si presuppone il fabbisogno di acqua sanitaria in funzione del numero reale delle persone che usufruiscono dell'immobile e del tipo di elettrodomestici presenti. Nel nostro caso si userà la stima del fabbisogno già effettuata con le formule semplificate presenti nella parte 2 della 11300, in funzione soltanto della dimensione dell'unità immobiliare. Tale valore è utilizzato anche per la determinazione delle etichette energetiche della CE che prendono in considerazione il fabbisogno di ACS su base annuale.

Fabbisogno elettrico

Tale fabbisogno è stato definito in maniera costante per unità immobiliare assumendo la quantità dei consumi standard che, in mancanza di dati precisi sui consumi della unità abitativa, viene generalmente adottata da installatori e progettisti di impianti PV per le singole abitazioni: ossia un fabbisogno prudenziale di circa 4000kWh annui per unità immobiliare. Questo valore potrebbe essere definito con maggiore articolazione utilizzando i dati del censimento ISTAT- TERNA per specificare il profilo dei residenti[8], o impostando una campagna di acquisizione di dati dal territorio.

Dati prestazionali preliminari

il risultato cercato in questa applicazione sarà la percentuale di soddisfazione dei fabbisogni con l'utilizzo delle tecnologie scelte.

[8] Esistono molti esempi di caratterizzazione o modellizzaione delle abitudini della componente umana che determina i consumi negli edifici . Shimoda (2007) definisce dei profili standard di utilizzatori basati su dati socio economici che poi utilizza per valutare ex ante gli effetti di possibili politiche per il risparmio energetico. Robinson (2009) integra nel suo strumento omnicomprensivo per il bilancio energetico della città "City Sim" un raffinato modello comportamentale (PAGE. 2008) basato sulla presenza/assenza degli utilizzatori per definire le consuetudini d'uso sia di schermature mobili e finestre che dei settaggi degli impianti per la climatizzazione.

Costo di realizzazione

Il costo di realizzazione delle due tecnologie è abbastanza differente: nel caso di pannelli solari per la produzione di ACS il costo è particolarmente variabile a seconda del tipo di impianto scelto, da poche migliaia di euro a quasi diecimila per una singola abitazione, e perciò una sua definizione credibile necessiterà di successivi approfondimenti; mentre nel caso dei sistemi PV il costo può essere definito facilmente mediante una rapida ricerca di mercato in quanto generalmente viene fornito in funzione dei kWhp installati. Gli impianti termici hanno costi di manutenzione fortemente dipendenti dal tipo di impianto mentre i PV generalmente non richiedono manutenzione, ma ogni 10 anni circa necessitano della sostituzione dell'inverter. Si rimanderà ad un successivo studio l'implementazione dei costi nella valutazione di questa ipotesi.

Vita utile

Per gli impianti PV si assume ormai una vita utile di almeno 25 anni mentre i sistemi HW sono caratterizzati da una durata in efficienza ancora una volta molto dipendente dal tipo di impianto installato.

Limiti normativi

Dal punto di vista normativo questi tipi di impianti per la produzione di energia da FER si scontrano sia con le normative di natura paesaggistica e di tutela dei beni culturali architettonici che con le normative urbanistiche che tendono a garantire caratteri omogenei sotto l'aspetto costruttivo ed architettonico dei diversi ambiti urbani. Nell'area oggetto di studio non sono presenti vincoli paesaggistici, perciò l'unica limitazione è il rispetto dell'inclinazione e dell'orientamento delle falde delle coperture inclinate.

Limiti tecnici

Come si vedrà dai risultati, gli edifici multipiano mal si prestano all'uso di queste tecnologie in quanto la copertura a disposizione spesso non è sufficiente a garantire un grado di soddisfacimento dei fabbisogni che possa giustificare l'investimento per tutte le unità dell'immobile.

Limiti gestionali

Definire con accuratezza i limiti gestionali di questa ipotesi progettuale è uno dei nodi che si dovrà risolvere per la definizione di un potenziale più verosimile. Pur esistendo in Italia politiche di incentivazione molto importanti, la diffusione delle tecnologie PV e HW è stata comunque limitata sia a livello nazionale che locale se rapportata con la diffusione ottenuta in altre nazioni della Comunità Europea. Esplorarne le ragioni, soprattutto quelle non direttamente legate a caratteri di ritorno economico o di salvaguardia dell'ambiente, permetterà di identificare i punti critici che ostacolano lo sviluppo della tecnologia per agire su di essi con appropriate politiche di incentivazione e di educazione della popolazione.

Incentivi

Gli incentivi per la diffusione di queste tecnologie sono differenti nel caso si tratti di impianti PV o di sistemi HW: il primo viene incentivato tramite una legge specifica chiamata "Conto energia"[9], mentre il secondo gode della detrazione del 55% propria delle riqualificazioni energetiche[10].

9.2.2 Fase seconda: GIS modelling

In questa sede si focalizzerà sulla metodologia utilizzata per determinare le prestazioni preliminari delle ipotesi progettuali proposte. Ossia si mostrerà come si è effettuato il calcolo della radiazione solare incidente e come da esso si è potuto determinare il grado di copertura dei fabbisogni per ogni edificio dell'area. Si tratta cioè di una modellazione a *livello territoriale:* dapprima si procederà con uno studio specifico per l'ipotesi progettuale in maniera indipendente da RET (nel nostro caso il calcolo dell'irraggiamento solare sulle superfici captanti dei pannelli) poi con i risultati ottenuti si effettueranno i confronti con i fabbisogni alla scala del singolo edificio, senza coinvolgere gli archetipi e la struttura dei dati di RET.

L'approccio proposto consiste in un adattamento di quanto presentato da Minghetti ed altri (2010) per l'approntamento di una web application detta "Bologna Solar City", finalizzata all'analisi dell'energia potenziale delle tecnologie solari, ossia per la valutazione preliminare della convenienza nell'installare pannelli solari col dettaglio della singola abitazione. Il cuore dell'applicazione è la stima dell'energia solare disponibile sulle coperture degli edifici ottenuta come somma dell'energia solare diretta e diffusa con l'ausilio degli strumenti Solar Radiation, disponibili con l'estensione Spatial Analyst di ArcGIS Desktop. I dati di input sono un preciso DSM (Digital Surface Model) del territorio comunale e le condizioni atmosferiche, l'orientamento e l'ombreggiatura di ogni punto in funzione dell'esposizione solare annuale. Il DSM è stato elaborato sulla base della carta tecnica comunale di Bologna (scala 1:2000) che contiene l'informazione della quota di gronda, ma non sul tipo della copertura; inoltre non contiene informazioni riguardo gli aspetti antropici, quali strade, edifici, ponti, e gli aspetti naturali, quali le coperture vegetali. Il tool Solar Radiation consente di calcolare la radiazione solare globale su una superficie per ogni ora del giorno e per ogni mese dell'anno, indagando sulla presenza di ostruzioni in ogni direzione e incrociando queste informazioni con la mappa del sole e con la mappa del cielo (RICH, P 1994). In questa applicazione Minghetti, partendo da un semplice DSM con coperture sempre piane, calcola i valori puntuali della radiazione globale per ogni mese dell'anno (fig. n°9.12) e, con l'ausilio del Model Builder ESRI, ricava un file

[9] Si fa riferimento al "Conto Energia"(D.M. 19 febbraio 2007 e successivi), che riconosce un premio in danaro proporzionale all'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili (fotovoltaico) ed inoltre permette di scambiare al pari con il gestore nazionale l'energia prodotta, azzerando di fatto il pagamento della bolletta. Il flusso di cassa è tale da ripagare in circa otto anni le spese per l'installazione un impianto casalingo di medie dimensioni.

[10] Le leggi finanziarie emanate periodicamente dal governo nazionale prevedono forti sgravi fiscali per chi effettua interventi di "*riqualificazione energetica*" del proprio edificio quali: il miglioramento delle caratteristiche termiche delle chiusure opache e trasparenti, l'installazione di pannelli solari termici o di sistemi di climatizzazione invernale ad alta efficienza.

shp poligonale riportante il valore dell'irraggiamento sulle coperture di ogni edificio (fig. n°9.13). L'applicazione web[11], partendo dal file con i valori di irraggiamento, richiede all'utente di definire la percentuale di copertura utilizzabile per l'installazione dell'impianto e, utilizzando il rendimento standard dei pannelli di silicio monocristallino e dei sistemi HW, restituisce il potenziale teorico installabile nella copertura e calcola alcuni indicatori di risparmio economico e di diminuzione delle emissioni (fig. n°9.14).

Fig. n°9.12, stralcio esemplificativo dei raster contenenti il valore della radiazione solare mensile calcolati col tool *Solar Radiation* nella citta di Bologna (MINGHETTI ed altri, 2010).

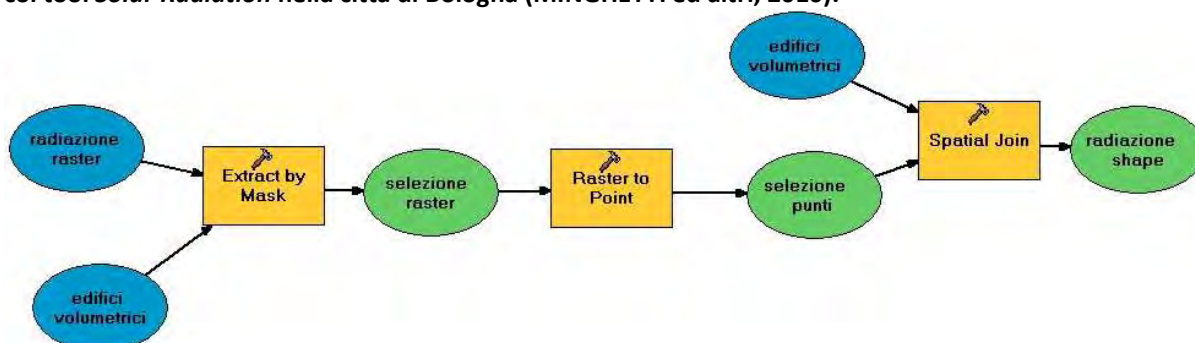



Fig. n°9.13, diagramma di flusso del tool, sviluppato col Model Builder ESRI, per l'assegnazione del valore di radiazione mensile puntuale dei file raster allo SHP poligonale degli edifici (MINGHETTI ed altri, 2010).

[11] Ottenuta integrando ArcGis Server e Sample Flex Viewer v.1.3, un'applicazione web di esempio sviluppata da ESRI per mostrare le principali potenzialità della piattaforma ArcGIS

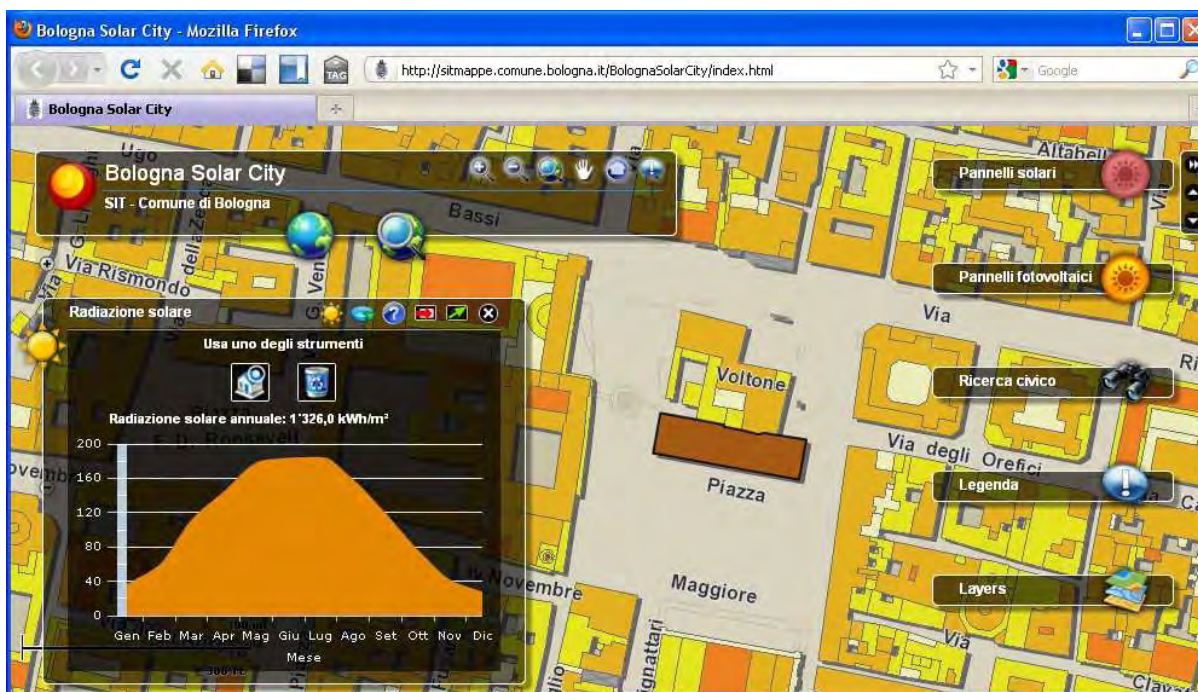



Fig. n°9.14, interfaccia della applicazione web Bologna Solar City (MINGHETTI ed altri, 2010).

La metodologia che si utilizzerà in questo studio integra ed adatta quella di Minghetti individuando i seguenti step:

creazione del DSM

Nel nostro caso non si possiede una cartografia ufficiale di buon dettaglio, o meglio si è partiti dall'ipotesi di non possederla; perciò verrà utilizzato il DTM creato dalla CTR (1:10.000) per definire la quota della base degli edifici ed i poligoni della BaseMap, implementata per il calcolo dei fabbisogni netti, per ottenere l'altezza della gronda. Questi file sono stati combinati in un DSM e convertiti in formato Raster con celle di 0,3m riportante la quota della superficie (fig. n°9.15). Come nel caso citato il file non fa differenza tra coperture inclinate o orizzontali.

Fig. n°9.15, DSM

Calcolo puntuale dell'irraggiamento solare

Vista la natura dimostrativa del nostro studio, per limitare i tempi di calcolo si è effettuata una sola valutazione dell'irraggiamento globale annuale che verrà utilizzata per calcolare il potenziale sia degli

impianti PV che di quelli HW. Utilizzando il tool *area Solar Radiation* col raster del DSM ottenuto nel precedente passaggio, si è ottenuto un altro file raster riportante il valore dell'irraggiamento annuo [Wh/mq] calcolato per ogni cella, dove è evidente l'effetto dell'ombreggiamento sugli edifici più bassi (fig. n°9.16).

Calcolo dell'irraggiamento solare sulla copertura

Il valore di irraggiamento è riferito alla cella di 0,3x0,3m: perciò per aggregare il valore per ogni edificio ed assegnarlo al poligono si è proceduto in maniera simile al caso bolognese utilizzando i seguenti tools strutturati nel Model Builder[12]:

Raster to point, per ottenere un file shp di punti avente il campo con il valore di irraggiamento annuo;

Spatial join, per assegnare ad ogni punto un identificativo dell'edificio su cui ricade;

Summary Statistics, per sommare il valore di irraggiamento di tutti i punti appartenenti allo stesso edificio in modo da ottenere il valore cumulato annuo dell'energia solare incidente la copertura [kWh]

Fig. n°9.16, Raster dell'irraggiamento solare annuo in kWh

Modifica del valore dell'irraggiamento solare

L'inclinazione e l'orientamento della copertura influiscono in maniera differente a seconda del tipo di tecnologia si prenda in considerazione, in quanto le superfici captanti hanno caratteristiche molto diverse tra loro. Senza entrare troppo in questi dettagli, si sono utilizzati dei prospetti per la valutazione preliminare della produzione che forniscono un coefficiente correttivo, da moltiplicare direttamente alla radiazione solare incidente la superficie orizzontale, in funzione degli angoli azimutali e zenitali della superficie captante (tab. n°9.5 e n°9.6). A questi coefficienti si è aggiunta

Fig. n°9.17, shp poligonale con la quota di superficie di copertura utilizzabile per gli impianti.

[12] In appendice 2 sono presenti gli schemi del tool sviluppato

anche la percentuale relativa alla superficie utilizzabile definita nei dati di input della tecnologia (fig. n°9.17).

$$Esol_i = Esolt_i * f_i (azimut, zenit) * fu_i \qquad (1)$$

Con:
$Esol_i$ = energia per irraggiamento solare annuale incidente la superficie di copertura utilizzabile
$Esolt_i$ = sommatoria del valore di irraggiamento annuale di tutte le celle appartenenti all'i-esimo edificio
f_i (azimut, zenit) = coefficiente in funzione dell'inclinazione e dell'orientamento della superficie captante (tab. n°9.5 e n°9.6).
fu_i = quota di superficie di copertura utilizzabile per gli impianti

Azimut sud:0° Est/ovest 90	Angolo di inclinazione						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0	0,89	0,97	1	0,99	0,93	0,83	0,69
15	0,89	0,96	1	0,98	0,93	0,83	0,69
30	0,89	0,96	0,99	0,97	0,92	0,82	0,7
45	0,89	0,94	0,97	0,95	0,9	0,81	0,7
60	0,89	0,93	0,94	0,92	0,87	0,79	0,69
75	0,89	0,91	0,91	0,88	0,83	0,76	0,66
90	0,89	0,88	0,87	0,83	0,78	0,71	0,62

Tab. n°9.5, coefficienti correttivi in funzione dell'orientamento ed inclinazione della superficie captante per pannelli solari termici (PAUSCHINGER 2003)

Azimut sud:0° Est/ovest 90	Angolo di inclinazione							
	0°	10°	15°	20°	30°	40°	60°	90°
0	1	1,06	1,08	1,1	1,11	1,1	0,99	0,68
15	1	1,06	1,08	1,09	1,1	1,09	0,99	0,68
30	1	1,05	1,07	1,08	1,08	1,07	0,96	0,68
45	1	1,04	1,05	1,06	1,06	1,03	0,93	0,67
90	1	0,99	0,97	0,96	0,92	0,87	0,75	0,55

Tab. n°9.6, coefficienti correttivi in funzione dell'orientamento ed inclinazione della superficie captante per pannelli PV (Atlante Solare ENEA 2003)

Calcolo della copertura dei fabbisogni

Dopo aver moltiplicato il valore dell'irraggiamento incidente sulla copertura con i coefficienti proposti nello step precedente, si avrà un file shp poligonale con i valori più verosimili del potenziale solare per ogni edificio; a questo punto basterà moltiplicarlo per il rendimento della rispettiva tecnologia e confrontare il risultato con i fabbisogni di ACS ed elettrici definiti tra i dati di input.

$$Epot_{ik} = Esol_i * {}_k \qquad (2)$$

Con:
$Epot_{ik}$ = energia potenziale della k-esima tecnologia sull'i-esimo edificio
$Esol_i$ = energia per irraggiamento solare annuale incidente la superficie di copertura utilizzabile
${}_k$ = rendimento globale della k-esima tecnologia

Pur non entrando nella valutazione economica delle due ipotesi progettuali, da una semplice rappresentazione della percentuale di soddisfacimento dei fabbisogni si evince una fondamentale differenza tra le due tecnologie: il sistema PV, salvo alcuni piccoli edifici, non ha a disposizione superficie sufficiente per soddisfare una quota significativa dei fabbisogni dell'immobile; al contrario il sistema HW, pur tenendo conto che una corretta valutazione dovrà essere svolta su base mensile, generalmente sembra avere un potenziale più che sufficiente per soddisfare il fabbisogno di ACS degli edifici considerati (fig. n°9.18). Il fabbisogno di energia primaria per ACS (EPacs) si attesta su circa 50-60kWh/mq annui e incide fortemente sulle prestazioni globali del sistema edificio/impianto; nella area di studio soddisfare tale bisogno con l'apporto di energie rinnovabili porterebbe ad una diminuzione delle emissioni di CO_2 di oltre il 25%. Quindi, dal punto di vista strettamente ambientale l'ipotesi del miglioramento della trasmittanza delle pareti perimetrali sembrerebbe equivalere a quella di un uso diffuso di sistemi solari termici. In una ipotetica scelta tra le due, saranno decisive le valutazioni basate sui parametri di natura economica e l'individuazione dei fattori di criticità.

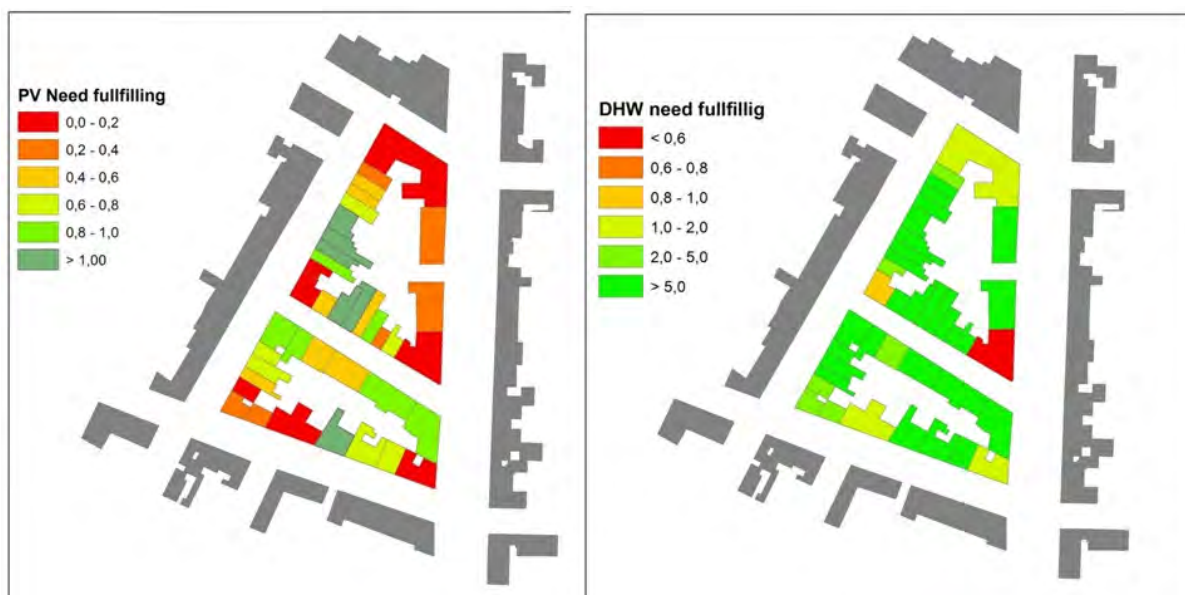



Fig. n°9.18, rappresentazione dei valori di copertura dei fabbisogni delle due tecnologie per la produzione di ACS e di energia elettrica.

Valutazione e identificazione dei fattori critici

Per impostare una corretta valutazione delle due tecnologie si dovranno effettuare alcuni passaggi che, per via dei tempi limitati di questo studio, verranno lasciati a successive implementazioni: il calcolo dei costi di realizzazione dell'impianto e la valutazione del contributo economico delle politiche incentivanti nazionali. Probabilmente per una corretta definizione di questi fattori si dovranno arricchire le descrizioni delle tecnologie anche negli step già affrontati. Affinché l'impianto HW sia efficace in termini di soddisfacimento dei fabbisogni, il suo dimensionamento, soprattutto in termini di superficie captante e capacità del serbatoio, generalmente è tarato sulla una definizione più dettagliata delle esigenze degli utilizzatori e non

sulle caratteristiche fisiche della unità immobiliare. Perciò i costi di realizzazione, soprattutto per quanto riguarda i sistemi per l'ACS, dipendono molto dalle caratteristiche dell'impianto che può avere una gran quantità di configurazioni non immediatamente inseribili all'interno della modellazione in ambiente GIS: si passa da costi di poche migliaia di euro per gli impianti a circolazione naturale al servizio di una unità abitativa ad oltre 5000 euro per impianti a circolazione forzata. Poi se si considerano impianti centralizzati al servizio di tutto l'edifico o integrati con il riscaldamento determinare un costo verosimile, sufficientemente legato alle effettive condizioni di installazione, diventa appannaggio di competenze specialistiche di installatori e progettisti termo-tecnici. Nel caso delle tecnologie PV, anche se il tipo di tecnologie utilizzate per la micro generazione privata sono da considerarsi piuttosto standard, esistono alcune caratteristiche di installazione che influenzano pesantemente il regime incentivante al quale l'unità immobiliare può accedere, divenendo di fatto paramenti fondamentali per la valutazione economica tra diverse ipotesi di configurazione dell'impianto. Anche in questo caso, per la definizione di strategie capaci di sfruttare appieno le opportunità offerte dalle politiche incentivanti nazionali, si dovranno considerare aspetti che fanno riferimento ad un bagaglio esperienziale piuttosto specialistico quali l'integrazione architettonica dei pannelli, il conveniente dimensionamento dell'impianto e l'eventuale sperimentazione di soluzioni meno convenzionali. Perciò l'apporto di un sapere tecnico specialistico è fondamentale per impostare una corretta modellazione GIS che tenga conto dei parametri realmente funzionali alla successiva valutazione e tralasci quelli che, pur essendo importanti in sede di progetto di dettaglio, perdono significato in uno studio a scala urbana.

Un altro aspetto che necessita di ulteriori approfondimenti è lo studio dei fattori critici che limitano la diffusione della tecnologia: se i limiti tecnici e normativi possono in qualche modo essere definiti a priori, tramite lo studio delle soluzioni impiantistiche e delle normative urbanistiche in relazione alle tipologie edilizie, le limitazioni legate in qualche modo al fattore umano necessitano per essere esplicitati di uno stretto confronto con gli attori del processo decisionale. Nel caso dei pannelli solari, ad esempio, le regole per la gestione delle parti comuni dell'edificio costituiscono un fattore fortemente limitante la diffusione della tecnologia: la copertura è sempre un elemento sul quale insistono a vario titolo i diritti di tutti i proprietari che ne usufruiscono ed anche in caso di lastrici solari ad uso esclusivo di un solo proprietario le eventuali spese di manutenzione dovranno essere ripartite tra tutti i condomini. Perciò la realizzazione di un impianto privato in una copertura di uso comune in linea generale sarà difficilmente accettata, ma anche l'installazione di un più costoso impianto al servizio di tutto l'immobile difficilmente potrà ottenere un parere positivo unanime dall'assemblea. Se poi la copertura è gravata da un vincolo di uso esclusivo, come nel caso dei piani attici, il proprietario potrebbe non accettare impianti al servizio di tutto l'edificio per non subirne i disagi quali: la riduzione della panoramicità, i problemi di infiltrazioni d'acqua meteorica causate da installazioni non eseguite a regola d'arte, eventuali limitazioni di accessibilità ai propri spazi, o il semplice obbligo di garantire l'accesso per la manutenzione periodica degli impianti. Grazie al confronto

con gli esperti, i decisori potranno individuare con più precisione i fattori di criticità che ostacolano lo sviluppo delle tecnologie in base ai quali suggerire soluzioni tecniche impiantistiche, modifiche o implementazioni dei regolamenti urbanistici e strategie di tipo gestionale adattate al contesto.

9.2.3 Conclusioni: un'interessante prospettiva di ricerca

In questo capitolo si sono sviluppate solo due ipotesi progettuali, in un conteso reale queste naturalmente saranno molte di più e di natura più articolata, arrivando a definire un vero e proprio scenario. Grazie anche al contributo degli esperti si potranno formulare più ipotesi progettuali alternative focalizzando meglio la valutazione sugli aspetti realmente importanti ai fini della scelta, eventualmente inserendo altri criteri e parametri di confronto. Lo scenario sarà quindi la somma di più ipotesi di miglioramento tecnologico articolate spazialmente grazie al confronto con lo Stato Attuale e con le normative urbanistiche presenti nel territorio. Cambiando le ipotesi progettuali ed, eventualmente, i valori su cui basare la valutazione si possono generare scenari alternativi che possono a loro volta essere confrontati tra loro grazie alla possibilità di ottenere degli indicatori di efficacia aggregati alle diverse scale di isolato, quartiere o urbana. In questo lavoro non si è avuto la possibilità di sviluppare un vero e proprio confronto tra alternative progettuali e tra scenari diversi in quanto sarebbe stato necessario coinvolgere gli esperti fin nelle fasi iniziali della ricerca per sviluppare un sufficiente numero di ipotesi progettuali e sintetizzare alcuni scenari condivisi. Tuttavia i casi sviluppati seppure gravati da alcune assunzioni semplificative, da una parte mostrano come RET sia in grado, con relativa facilità, di simulare gli effetti delle ipotesi progettuali basate sulla modifica di qualunque fattore presente nel calcolo standard della UNI 11300 e dall'altro mostrano come la grande versatilità dello strumento GIS permetta di simulare l'inserimento delle nuove tecnologie a livello territoriale, per poi farle interagire con lo Stato Attuale.

Proprio su questo aspetto si apre una delle più interessanti prospettive di sviluppo di questo lavoro relativa alla definizione di metodologie, in ambiente GIS, per generare scenari alla scala urbana inerenti lo studio del potenziale delle tecnologie basate sulle FER. Queste metodologie, una volta che RET sarà settato e validato, potranno contribuire a riportare in capo alle amministrazioni un ruolo propositivo forte nelle trasformazioni urbane: esse potranno infatti basare i processi decisionali sulla valutazione di scenari credibili costruiti con il supporto di strumenti semplici di analisi e previsione.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Rich, P. M., R. Dubayah, W. A. Hetrick, and S. C. Saving. (1994). "Using Viewshed Models to Calculate Intercepted Solar Radiation: Applications in Ecology. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers, 524–529

Thomas Pauschinger, Martin Ménard, Monika Schulz (2003), *Impianti solari termici: Manuale per la progettazione e costruzione*; manuale è stato realizzato dall'Istituto di Ricerca Ambiente Italia nell'ambito del progetto Altener Europeo *Qualisol-Installer qualification on solar heating systems*; www.ambienteitalia.it.

Andrea Minghetti, Paola Africani, Luca Lorenzini, Elisa Paselli (2010); *Bologna Solar City, una web application per l'analisi dell'energia potenziale: dalla stima della radiazione solare alla realizzazione dell'applicazione*; Atti 14ª Conferenza Nazionale ASITA, 9 – 12 novembre 2010, Fiera di Brescia

Yoshiyuki Shimoda, Takahiro Asahi, Ayako Taniguchi, Minoru Mizuno, (2007); Evaluation *of city-scale impact of residential energy conservation measures using the detailed end-use simulation model*; Energy 32 (2007) 1617–1633

D. Robinson, F. Haldi, J. Kämpf, P. Leroux, D. Perez, A. Rasheed, U. Wilke, *City- Sim: Comprehensive micro-simulation of resource flows for sustainable urban planning*, Proc. Eleventh Int. IBPSA Conf: Building Simulation 2009, Glasgow, UK.

J.Page, D.Robinson, N. Morel, J.-L. Scartezzini; *A generalised stochastic model for the simulation of occupant presence* ; Energy and Buildings 40 (2008) 83–98

Robinson, D., Stone, A., (2005); A simplified radiosity algorithm for general urban radiation exchange. Building Services Engineering Research and Technology 26 (4), 271–284.

Domenico Coiante (2006); *Le nuove fonti di energia rinnovabile*, Franco Angeli, Milano 2006

D. Cocco, C. Palomba, P. Puddu; *Teconologie delle Energie Rinnovabili*; SGEditoriali, Padova 2008

N. Aste (2008*); Il fotovoltaico in architettura : l'integrazione dei sistemi per la generazione di elettricità solare: nuovo conto energia, schede tecniche di componenti e sistemi normativi*; Napoli : Sistemi editoriali Esselibri-Simone 2008

Capitolo 10

Conclusioni

10.1 Raggiungimento degli obiettivi della ricerca

Abbiamo precedentemente (Cap 5) formulato alcune domande con le quali la metodologia, sviluppata in questo studio, si sarebbe dovuta confrontare (fig. n°10.1); ora si proverà a capire quanto il toolbox RET, pur con le limitazioni e le necessarie implementazioni già specificate nei paragrafi precedenti, abbia centrato l'obiettivo e quanto ci sia ancora da fare a riguardo.

The context of the urban policies

STAKEOLDERS
Decision Makers (public administrators)
Building sector companies
Private owners
Interested observers
Random observers

Main consensus issues
Policies to support RES and energy savings
Environmental protection
Building renovation and urban quality
Landscape protection
Economic and social development

Questions
What are the characteristics of the energy consumption for heating, cooling, DHW in our building stocks?

What kind of energy savings and RES production technologies are available?:
Technical feasibility
Normative feasibility
Economic feasibility.

What national incentive policies are allow to use?

What law tool are available?

What is the efficiency of new technologies on environment protection

What is the impact of new technologies on city landscape

fig. n°10. 1, domande valutative

La prima e più importante domanda riguarda le caratteristiche del patrimonio edificato, il toolbox e la metodologia ad esso legata hanno dimostrato di essere un valido aiuto nel rappresentare lo Stato Attuale del patrimonio edificato dal punto di vista qualitativo e quantitativo.

Lo Stato Attuale, al suo massimo dettaglio, può fornire per ogni edificio un livello informativo paragonabile ad una CE effettuata con DOCET. Inoltre, sempre alla scala del singolo edificio, possono essere potenzialmente noti tutti i fattori che influenzano il fabbisogno netto e di EP secondo la metodologia di calcolo standard della UNI 11300. Partendo da questo dettaglio sub progettuale, si possono costruire, con un processo bottom–up, tematismi a varia scala (isolato, quartiere, urbana) per rappresentare le caratteristiche del patrimonio edificato di interesse nel processo decisionale.

La struttura stessa dello stato attuale permette di valutare ex-ante tutte le ipotesi progettuali che coinvolgono il sistema edificio-impianto (involucro edilizio, impianti per la climatizzazione e per la produzione di ACS, schermature solari,..). Per quanto riguarda le tecnologie non direttamente coinvolte nel calcolo della UNI 11300 parti 1-2, ossia principalmente gli impianti di produzione da FER, sarà necessario sviluppare tools e metodologie specifiche. Lo strumento GIS permette una facile relazione tra le possibili modellazioni delle nuove tecnologie; la letteratura fornisce già un buon bagaglio di esperienze e di metodologie, che possono guidare nel confronto tra alternative progettuali differenti. L'unità minima che struttura lo Stato Attuale permette di effettuare valutazioni economiche dell'investimento inerenti le nuove tecnologie con una precisione assimilabile ad uno studio di fattibilità alla scala del singolo edificio o, in maniera aggregata, per interi isolati o quartieri, tenendo conto di tutte le possibili politiche di incentivazione nazionali o locali.

Si può quindi affermare che questo studio sia riuscito a strutturare una metodologia, nello specifico un toolbox GIS, allo scopo di supportare i decisori soprattutto negli aspetti più tecnici che riguardano la definizione di piani e programmi per il miglioramento dell'efficienza energetica del patrimonio edificato delle nostre città. Per quanto riguarda gli aspetti più inerenti al processo decisionale si rimanda a successivi approfondimenti per l'individuazione dettagliata degli attori coinvolti con le loro specifiche domande valutative e l'impostazione di una metodologia per la valutazione e scelta tra più alternative.

10.2 Sviluppi futuri della ricerca

Le prospettive future della ricerca sono molteplici alcune delle quali, quelle più legate allo sviluppo dell'algoritmo di calcolo e del toolbox stesso, sono già state ampiamente esposte nei paragrafi precedenti; qui si proverà a dare qualche spunto su alcuni aspetti non ancora esplorati della tematica.

10.2.1 Nuove metodologie per il rilevo e l'acquisizione di dati sul fabbisogno ed i consumi

I limiti imposti dal dettaglio e l'aggiornamento della cartografia disponibile potranno essere superati dalla diffusione di metodologie LIDAR che sono capaci di un rilievo dettagliato delle geometrie degli edifici a costi che diverranno sempre più limitati. Integrando il rilievo con altri sistemi di sensori si sono sviluppati modelli per la determinazione della influenza della morfologia urbana sul fabbisogno energetico degli edifici (RATTI 2005) o sui fenomeni microclimatici. Il rilievo dettagliato delle geometrie permette di definire modelli più accurati per la simulazione del fenomeno dell'irraggiamento solare in ambito urbano e l'uso dei sensori permette la calibrazione in tempo reale (Carneiro 2010, EnergyWeb Feltre[1]).

Un altro campo di ricerca di primario interesse è lo studio dei data base esistenti presso le amministrazioni pubbliche e gli enti gestori dei servizi energetici per definire una metodologia nazionale per la raccolta dei

[1] Energy Web Feltre è un progetto che coinvolge l'amministrazione comunale di Feltre , la Fondazione per l'Università e l'Alta Cultura in provincia di Belluno BIM Piave, ARPAV, Università IUAV di Venezia, UniSky srl spin-off IUAV, LTS Land Technologies & Services; www.ricercasit.it/energywebfeltre.

dati necessari alla stima del fabbisogno. Recentemente alcune amministrazioni locali (tra le quali Modena, Padova e Feltre), partendo dai dati sui consumi ricavati dalle informazioni delle società erogatrici dei servizi energetici, stanno attivando sistemi per costruire una banca dati aggiornata in tempo reale provvista di precisi riferimenti spaziali.

Grazie alla diminuzione dei costi degli strumenti per la sensoristica, si sta assistendo ad una loro forte diffusione nel campo delle problematiche ambientali e territoriali che permetterà di avere accesso ad una grande quantità di dati dinamici, potenzialmente interrogabili in tempo reale (BIANCHIN 2010).

Nel campo delle prestazioni energetiche degli edifici si possono individuare due tipologie di sistemi di sensori:

- *La prima* riguarda i sensori utilizzati più correntemente per la diagnosi energetica come termocamere a infrarossi portatili o alloggiate su aeromobile e termoflussimetri per la determinazione della trasmittanza della muratura;
- *la seconda* si riferisce a strumenti generalmente utilizzati per monitoraggi approfonditi o per la gestione intelligente degli edifici, che forniscono dati in modalità continua sui consumi, sui parametri climatici interni o esterni all'edificio o sulle attività umane che vi si svolgono.

I sensori possono fare parte di reti, più o meno estese, che rendono disponibili i dati rilevati per successive elaborazioni ed integrazioni con informazioni di altra origine. La ricerca "Energy Web Feltre" integra il rilievo LIDAR con le tecniche di termografia degli edifici e di City Sensing per avere informazioni circa le caratteristiche fisiche degli involucri e ricavare gli andamenti dei consumi dal monitoraggio continuo di un campione rappresentativo di edifici. Bianchin (2011) propone una ricerca volta alla implementazione di una piattaforma tecnologica per acquisire, elaborare e pubblicare dati sulle prestazioni energetiche e sui parametri ambientali relativi al patrimonio edilizio delle Pubbliche Amministrazioni. Lo scopo è definire una architettura orientata ai servizi "Service Oriented Architecture" (MAYER, 2009) che possa integrare i dati provenienti dai sensori con quelli degli archivi informatizzati pubblici, tramite interfacce di rappresentazione utili alle attività di *Energy Accountability* (BIGI, 2008) relative al patrimonio edilizio delle Pubbliche Amministrazioni.

La forma molto semplice dei dati di input e dei risultati della metodologia unitamente alla struttura modulare del toolbox RET non precludono l'eventuale integrazione con tecnologie di acquisizione dei dati più sofisticate:

- i dati geometrici acquisiti da tecnologie LIDAR potrebbero fare da input al toolset capace di eseguire il calcolo standard della UNI 11300;
- grazie alla struttura modulare del Toolbox RET, la modellazione dettagliata dell'irraggiamento solare potrebbe sostituire il calcolo semplificato della norma;

- l'acquisizione di dati da osservazioni dirette e sensori potrebbe fornire l'informazione necessaria a validare lo Stato Attuale o ad integrare una qualche valutazione dell'influenza della componente umana sul fabbisogno energetico.

10.2.2 Integrazione del toolbox RET con algoritmi di MCDA in ambiente GIS

Il toolbox RET può fornire indicatori di tipo prestazionale, economico e tecnico dello Stato Attuale e delle differenti ipotesi di trasformazione in chiave sostenibile. Tali valori pesano differentemente sul processo decisionale a seconda delle priorità degli stakeholders e delle caratteristiche del contesto. Siamo in una situazione di processo decisionale semi-strutturato dove, accanto ad alcuni indicatori e valori comunemente riconosciuti, bisognerà considerare una forte componente discrezionale. Nel nostro tipo di processo decisionale la discrezionalità riguarderà tanto le ipotesi progettuali che le preferenze tra i vari criteri di valutazione delle alternative. L'integrazione, in ambiente GIS (MALCZEWSKI 1999, TIKNIOUINE 2006), di una procedura di MCDA basata sui risultati ottenibili da RET completerebbe la metodologia realizzando un MCDA-SDSS che interviene in tutte le fasi del processo decisionale guidando gli stakeholder verso una soluzione condivisa.

10.2.3 Metodologie di valutazione dell'impatto paesaggistico

La valutazione degli aspetti inerenti l'integrazione tra le nuove tecnologie, in particolare quelle per la produzione da FER, ed il paesaggio urbano e rurale è uno dei più proficui campi di ricerca di questi ultimi anni. Il dibattito mostra da una parte il sapere tecnico e l'interesse economico che puntano ad utilizzo sempre più massivo delle nuove tecnologie e dall'altra la necessità di preservazione dei paesaggi e di tutela dei beni culturali. Questo campo di studio spazia dai contributi, molto tecnici, sui nuovi materiali o sui sistemi per migliorare l'integrazione delle FER col corpo edilizio senza perderne in efficienza, al contributo degli architetti che cercano di progettare il nuovo, o ristrutturare il vecchio, utilizzando i linguaggi che le nuove tecnologie impongono[2].

Uno Stato Attuale più efficace nella rappresentazione dei processi reali dovrebbe in qualche modo contenere informazioni riguardo i valori paesaggistici che caratterizzano il patrimonio edificato (edifici di pregio, viste particolari, centri storici) ed i vincoli normativi che ne scaturiscono. In realtà lo studio dell'integrazione delle nuove tecnologie va al di la dell'impatto che queste possono generare nei contesti di pregio. Prendendo in considerazione le parti della città consolidata o delle periferie urbane, le nuove tecnologie, con la loro forte capacità di incidere sul paesaggio, possono diventare al contrario un'opportunità di miglioramento e riqualificazione dei contesti degradati. Su questo aspetto le amministrazioni dovranno proficuamente giocare il loro ruolo propositivo e di guida per indirizzare gli interventi di riqualificazione energetica dei singoli edifici verso direzioni comuni. Lo sviluppo delle FER può

[2] Alcuni temi e contributi: http://www.iea-shc.org/task41/subtask/index.html

diventare l'occasione per rigenerare la qualità architettonica di quei contesti, spesso abbandonati e spersonalizzati, che affollano le nostre periferie urbane. Anche in questo caso il GIS permette sia la banale sovrapposizione tra lo *Stato Attuale* e la rappresentazione spaziale dei vincoli normativi, che, grazie agli strumenti di analisi spaziale, lo studio più approfondito dei rapporti tra gli elementi di pregio della città.

10.2.4 Metodologie e tecniche per favorire la partecipazione

Nelle recenti guide per la redazione di piani e programmi per la sostenibilità energetica a livello comunale[3], il coinvolgimento della cittadinanza è considerato un elemento senza il quale il programma perderebbe buona parte della sua efficacia. Le guide propongono sia metodologie per l'individuazione degli attori del processo e dei loro rispettivi interessi e gradi di partecipazione, che tecniche adeguate per il loro coinvolgimento. Appare comunque chiaro che l'importanza del coinvolgimento allargato della cittadinanza risulti funzionale tanto alla raccolta dei dati di input del processo decisionale, quanto alla pubblicizzazione a fini educativi ed informativi dei risultati dello stesso (DE SANTOLI, 2003).

La metodologia si potrebbe integrare proficuamente con strumenti partecipativi come i WebGIS, forum in rete, o le più comuni tecniche di coinvolgimento diretto, circa i seguenti aspetti:

- raccolta di informazioni sugli impianti ed alcune caratteristiche dell'involucro;
- raccolta di informazioni sui consumi reali al fine di validare e testare il tool di calcolo;
- raccolta delle preferenze sui possibili interventi di miglioramento tecnologico degli edifici;
- campagne di sensibilizzazione ed educazione della cittadinanza;
- pubblicizzazione dei risultati intermedi e finali del processo decisionale

La ricerca si sta orientando sullo sviluppo di piattaforme di raccolta ed elaborazione dati, provenienti da fonti istituzionali e da modalità di acquisizione partecipate, strutturate come un insieme di interfacce dinamiche disegnate per rispondere alle esigenze delle diverse tipologie di attori coinvolti nei processi di trasformazione della città. Sarà quindi di primario interesse identificare con precione gli stakeholder coinvolti in modo da strutturare modelli di rappresentazione più efficaci per la promozione di stili consapevoli di consumo e per il supporto ai processi decisionali della Pubblica Amministrazione.

Il coinvolgimento degli utenti finali dei servizi energetici risulta perciò utile per definire metodologie per la stima dell'influenza degli stili di consumo sul fabbisogno energetico del patrimonio edificato. In letteratura sono documentati diversi approcci per la stima dell'influenza del fattore umano nella determinazione dei fabbisogni basati su modelli matematici più o meno raffinati e su campagne di acquisizione che spaziano dall'utilizzo delle nuove tecnologie di reti di sensori ai tradizionali questionari. Alcuni utilizzano modelli comportamentali molto complessi (PAGE 2008, WIDEN 2010), altri tracciano profili a carattere fortemente

[3] Si fa riferimento ai Piani Energetici Comunali della normativa italiana o agli strumenti proposti dalle metodologie europee del "Patto dei Sindaci" e dal "Progetto EASY".

tipizzato in base a specifiche campagne di acquisizione di dati o semplicemente su dati di natura demografica ed economica già disponibili (SHIMODA, 2007).

Lo sviluppo di metodologie per il coinvolgimento informato degli utenti può generare effetti rilevanti sul consumi: la lettura dei consumi in tempo reale unitamente a statistiche di lungo periodo, possono essere un prezioso strumento di apprendimento e di controllo dell'energia utilizzata (DERBY 2006).

Il coinvolgimento dell'utente può essere perseguito con diversi tipi di sistemi (DALLA COSTA 2011):

feedback indiretto, ovvero la semplice lettura dei consumi dalla propria bolletta, questa forma di coinvolgimento non ha raggiunto buoni risultati per la mancanza di chiarezza dei dati messi a disposizione e per il largo uso di letture stimate dei consumi non sempre fedeli a quelle reali.

Il feedback diretto da lettura del contatore svolta dal consumatore.

il feedback proattivo, ovvero la misurazione dei consumi monitorata per un medio periodo (8-12 mesi) ed affiancata da attività formative e informative per promuovere lo scambio di esperienze tra partecipanti. Un progetto che ha lavorato in tal senso è stato l'iniziativa "Cambieresti", realizzata a Venezia nel 2005 su un campione di più di 1000 famiglie volontarie e successivamente esportata in altre realtà urbane (Bassano del Grappa, Casalecchio di Reno, Urbino, ecc.);

I Sistemi di sensori (smart meter) per il monitoraggio lettura in tempo reale dei consumi di ogni dispositivo o complessivi. Questi strumenti, pur non essendo molto diffusi, sono già disponibili sul mercato. Sono in fase sperimentale alcuni sistemi di interfaccia grafica, soprattutto web based, per facilitare la comprensione delle letture dei consumi e la loro ripartizione come il *Google Power Meter e il Lucid's Building Dashboard*.

Dalla Costa (2011) sviluppa una sperimentazione (nel Comune di Monteveglio, in provincia di Bologna) di una interfaccia che mette a confronto le prestazioni teoriche di ogni unità abitativa, calcolate con la metodologia standard della UNI 11300, con i sui consumi reali monitorati in tempo reale tramite reti di sensori.

10.2.5 La modellazione dell'influenza del microclima urbano

Al di la degli aspetti direttamente inerenti al calcolo del fabbisogno energetico dell'edifico, già ampiamente discussi (Cap. 6), vi sono alcune questioni che richiedono una maggiore riflessione a causa del loro peso sul bilancio energetico della città. In questo lavoro il fabbisogno energetico del patrimonio edificato è determinato come pura addizione del fabbisogno dei singoli corpi di fabbrica. In realtà la circolazione energetica di un'area urbana è caratterizzata da fattori antropogenici che possono influire pesantemente sulle naturali condizioni di ventilazione e irraggiamento solare che determinano in larga misura il clima regionale che è stato utilizzato come dato di input per il calcolo standard della norma. Il clima è determinato principalmente dai processi fisici di scambio di calore tra la superficie del suolo, irraggiata dal sole, e l'atmosfera: in ambito urbano la natura di tali superfici di scambio è molto diversa da quella caratteristica di un ambito rurale sia per le forme che per le proprietà termiche e di rifrazione dei materiali.

Inoltre tale equilibrio viene fortemente influenzato da un serie di fattori riconducibili alle attività umane, che in ambito urbano possono trovare una straordinaria concentrazione. La circolazione veicolare, l'uso degli impianti di climatizzazione e le attività industriali immettono nell'atmosfera sia flussi di calore provenienti dall'uso di fonti energetiche esterne al ciclo naturale, che sostanze inquinanti che alterano le qualità fisico-chimiche della atmosfera.

Si sta facendo riferimento ai fenomeni microclimatici urbani noti come l'isola del calore e di canyon urbani. L'effetto isola di calore genera un aumento delle temperature medie della canopia urbana[4] (fig. n°10.2) , sensibile soprattutto nelle ore notturne, ed è direttamente proporzionale al numero di abitanti e alla estensione della città. Tale fenomeno interessa tutta l'area urbana, ma la conformazione degli edifici e l'ombreggiamento reciproco possono generare una infinità di condizioni climatiche locali caratterizzate da forti gradienti termici (positivi o negativi) e particolari regimi di ventosità. I parametri che influenzano il microclima del canyon urbano sono principalmente il rapporto tra l'altezza degli edifici e la larghezza delle strade, la superficie coperta, l'esposizione all'irraggiamento solare e alle correnti di ventosità regionale. Il peso delle caratteristiche locali può essere superiore all'influenza delle tendenze climatiche della canopia per l'instaurarsi di particolari regimi di circolazione d'aria che separa la ventilazione esterna da quella del canyon urbano. Ciò si verifica tipicamente nei casi di un alto rapporto tra H/W registrabile nelle vie medievali o nei centri delle città moderne (fig. n°10.4). Tale fenomeno di ventilazione locale è generato, oltre che dalla rugosità della superficie urbana, dal gradiente termico tra il centro della strada e le superfici degli edifici più calde e dalla presenza di aree a diversa temperatura per le variabilissime condizioni di ombreggiamento. L'influenza dei parametri formali e di orientamento degli edifici sul fabbisogno energetico per la climatizzazione è uno dei più attuali argomenti di studio, Ratti et altri (2005) partendo dal DEM di alcune grandi città europee (Londra, Tolosa, Berlino), esplicitano l'influenza della forma urbana nel bilancio termico degli immobili concludendo che la forma urbana, che determina l'ombreggiamento e l'irraggiamento reciproco tra gli edifici, sembra avere una influenza di circa il 10-15% sul fabbisogno energetico, fortemente dipendente dal rapporto di superficie finestrata.

I fenomeni microclimatici locali generati dai canyon urbani possono influire fortemente sul fabbisogno energetico del singolo edificio, e l'isola del calore può creare condizioni sensibilmente diverse da quelle del clima medio regionale, ma la necessità di definire metodologie standard semplificate ha delineato un campo di ricerca molto vivace dove accanto a modelli empirici basati su semplici parametri di morfologia urbana[5] (OKE, 1987) si possono trovare modelli fisici rigorosi capaci di esplicitare l'influenza

[4] Generalmente nei centri urbani si possono registrare differenze di temperature che variano dai 0,5c° ai 4c°. Palmieri (2002), verifica l'effetto isola del calore nella città di Roma utilizzando delle stazioni meteorologiche e registrando una differenze di temperatura media di circa 7,3 c°.

[5] Esistono numerose relazioni empiriche che hanno dimostrato il legame tra il gradiente termico e alcuni valori caratteristici dell'area urbana quali ad esempio il rapporto medio altezza palazzi/larghezza strade (H/W) oppure la popolazione residente ed i venti locali (Oke, 1987).

dell'irraggiamento solare, della ventilazione o della concentrazione di particelle inquinanti nell'aria (GISOTTI 2007, SANTAMORIUS 2001, RATTI 2005). La normativa UNI per il calcolo del fabbisogno di energia primaria degli edifici non considera l'influenza del microclima urbano se non parzialmente tramite la determinazione degli apporti solari in base alle condizioni di ombreggiamento del contesto. Introdurre parametri più complessi potrebbe rendere la metodologia di calcolo poco replicabile compromettendo uno dei principali obiettivi della normativa, ossia la comparabilità dei risultati anche in diversi contesti di applicazione. Nella metodologia proposta, in virtù del suo approccio semplificato alla modellazione del fabbisogno energetico, si è scelto di non considerare l'effetto del microclima in quanto esso viene tralasciato anche dalla normativa applicabile a scala progettuale. Inoltre la modellazione dei fenomeni microclimatici, per mantenere la stessa scala di analisi utilizzata in RET, avrebbe richiesto lo sviluppo di algoritmi complessi non sempre supportati da dati di partenza di adeguata accuratezza e risoluzione spaziale.

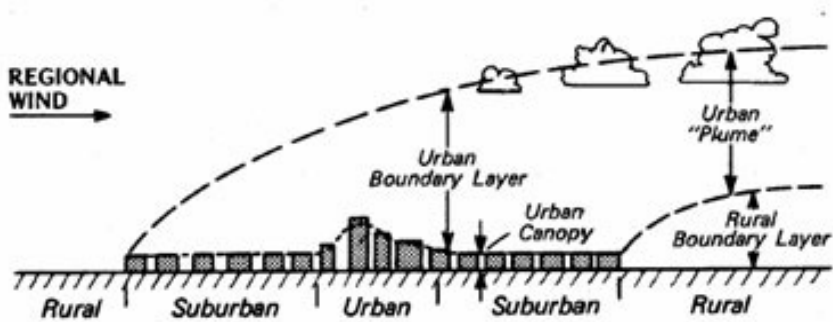



Fig. n° 10.2 - La canopia e lo strato limite urbano (OKE, 1987). La canopia urbana è quello strato d'aria compreso tra il suolo e la sommità degli edifici, mentre lo strato limite (boundary layer) è lo spessore di atmosfera in cui le proprietà e le correnti sono generate dall'attrito con la superficie sottostante e la differenza di temperatura tra suolo ed atmosfera (GISOTTI, 2007).

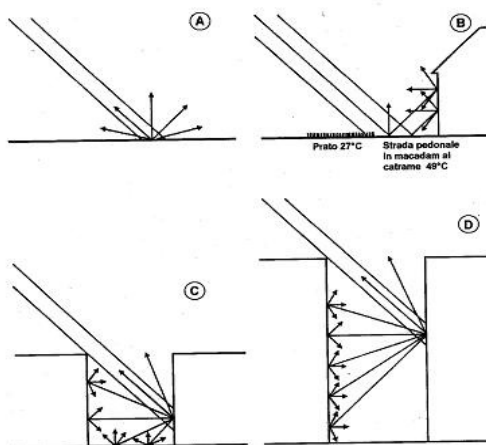



Fig. n° 10.3 - L'effetto dei fabbricati nella riflessione delle radiazioni solari (GISOTTI 2007). Nel caso A e B siamo in una area aperta tipica di un ambiente rurale, nei casi C e D si nota come l'altezza dei palazzi non permetta alla radiazione solare di disperdersi generando effetti di surriscaldamento.

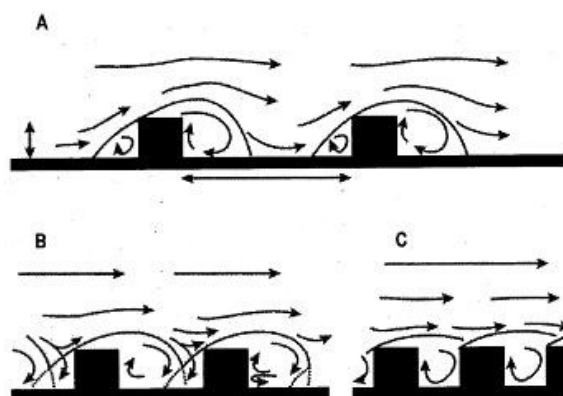



Fig. n° 10.4 - Flussi interni ai canyon urbani con ventilazione naturale ortogonale al variare del rapporto H/W. A) flusso di ruvidità indisturbato; B) flusso di interferenza di scie; c) flusso di scrematura (SANTAMOURIS, 2001).

Considerando lo sviluppo di metodi e tecnologie sempre più raffinate per il rilievo topografico (LIDAR) e dei fenomeni fisici anche alla scala urbana (Remote Sensing, City Sensing,) presto si potranno avere, a costi limitati, dati con una straordinaria accuratezza e risoluzione spaziale. La ricerca si sposterà sempre più verso la definizione di modelli capaci di elaborare tali informazioni in maniera consona alle richieste degli utenti. Probabilmente, vista l'influenza dei fenomeni microclimatici sul bilancio energetico degli edifici, inserire anche questo fattore nella modellazione alla scala urbana e di quartiere potrebbe contribuire a definire politiche e strategie più efficaci. In particolare tale aspetto risulta molto rilevante quando l'attenzione si sposti nel progetto dello spazio pubblico e delle facciate degli edifici. Ci si riferisce ad un approccio bioclimatico alla progettazione che indaga sulle qualità microclimatiche di un sito analizzando il bilancio energetico - radiativo[6] della superficie urbana studiandone la forma ed i materiali. In base a questi studi si possono proporre una serie di soluzioni quali: l'uso di filari alberati per la protezione dai freddi venti invernali e dall'irraggiamento estivo, l'uso di tipologie edilizie aperte verso la ventilazione naturale, l'uso di scremature solari nei corpi edilizi; la realizzazione di corpi idrici che fungono da serbatoi di calore in periodo invernale e che consentono il raffrescamento estivo per evaporazione; la limitazione della superficie impermeabilizzata dei suoli per permettere il drenaggio naturale delle acque ed il suo mantenimento a verde.

[6] per un bilancio radiativo avremo quindi:
R = Sdir + Sdiff + Ea - Srif – Es
dove:
Sdir - Radiazione solare diretta; onde corte
Sdiff - Radiazione solare diffusa; onde corte
Srif - Radiazione solare riflessa; onde corte
Es - Reirraggiamento da parte della superficie terrestre; onde lunghe
Ea - Reirraggiamento atmosferico (detto "controradiazione", in quanto va in una certa misura a bilanciare l'energia riemessa dalle superfici); onde lunghe.
"R" rappresenta quindi il bilancio netto tra i flussi radiativi che interagiscono con la superficie terrestre

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Abdessadek Tikniouine, Abdelaziz Elfazziki Tarik Agouti (2006); *An hybrid model of the MCDA for the GIS: application to the localization of a site for the implantation of a dam*; AIKED'06 Proceedings of the 5th WSEAS International Conference on Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Data Bases.

Bastiani M, Mirabile M 2008. Gli enti locali hanno un piano. http://www.qualenergia.it/view.php?id=126&contenuto=Articolo

Bergoglio F, Bressan M, Suman D (Dip. ARPAV di Padova), Angrilli A (2002). 1° Rapporto sullo Stato dell'Ambiente nel Comune di Padova.

Bianchin A., S. Dalla Costa, J. Rizzi, M. Rumor (2011), *Monitoraggio energetico del patrimonio edilizio: sensori, standard ed architetture di sistemi*, conferenza Informatics And Urban And Regional Planning INPUT, Potenza 2011

Bigi M (2008) Verso l'Energy Accountability e il Bilancio ambientale energetico. In: Fauri M et Al. (a cura di) Energia e Clima, Beni Comuni, Formez. Guerini e Associati, Milano.

Carlo Ratti, Nick Baker, Koen Steemers; Energy consumption and urban texture; Energy and Buildings 37 (2005) 762–776

Cláudio Carneiro, Eugenio Morello, Gilles Desthieux, François Golay (2010); Extracting urban environment quality indicators using georeferenciated data and image processing techniques 13th AGILE International Conference on Geographic Information Science 2010 Guimarães, Portugal

Dalla Costa Silvia (2011), *Quadro Conoscitivo condiviso orientato alla modellazione delle prestazioni energetiche nell'edilizia residenziale*; conferenza Informatics And Urban And Regional Planning INPUT, Potenza 2011

Derby S (2006) The effectiveness of feedback on energy consumption. A review for defra of the literature on metering, billing and direct displays. Enviromental Change Institute, University of Oxford

Gamberini L et Alii (2009) Technologies to improve energy conservation in households: The users' perspective. First European Conference Energy Efficiency and Behaviour Maastricht, October 18-20 2009

Gisotti Giuseppe (2007); Ambiente Urbano, introduzione all'ecologia urbana; Dario Flaccovio editore, Palermo

J. Page, D. Robinson, N. Morel, J.-L. Scartezzini (2008); A generalised stochastic model for the simulation of occupant presence; Energy and Buildings 40 83–98

Joakim Widen (2010), Ewa Wäckelgård; A high-resolution stochastic model of domestic activity patterns and electricity demand; Applied Energy 87 (2010) 1880–1892

Livio de Santoli, Gino Moncada Lo Giudice (2003); BEEPS (Building Energy & Environment Performance System): A Programme For Italy; National Conference 2003 – Edinburgh, Scotland "Building Sustainability, Value and Profit" 24-26 september 2003

Malczewski, J., GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley and Sons, 392 pp., New York, NY, 1999**.**

Mayer C, Stollberg B, Zipf A (2009). Providing near Real-time Traffic Information within Spatial Data Infrastructures. 2009 International Conference on Advanced Geographic Information Systems & Web Services. DOI 10.1109/GEOWS.2009.17

Oke T. (1987) R., Boundary layer climates, Meuthen, London

Palmieri S., Delli Passeri L, Siani A. M, Casale G. (2001), Temperatura umidità e vento nella canopia urbana, in Atti dei convengni Lincei n°182, "Ecosistemi urbani" Roma 22-24 ottobre 2001, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.

Ratti, C, Baker, N, and Steemers, K (2005); Energy consumption and urban texture', *Energy and Buildings*, 37, pp. 762–776

Santamouris M. (2001), Energy and climate in the urban built environment, James and James London

Sartogo F (a cura di) (2000); Saline Ostia Antica. Modello di ecologia urbana con integrazione del 93% delle energie rinnovabili, Alinea editore, Firenze

Soldaat K (2006) Interaction between occupants and sustainable building techniques. ENHR conference "Housing in an expanding Europe: theory, policy, participation and implementation" Ljubljana, Slovenia 2 - 5 July 2006

Yoshiyuki Shimoda (2007), Takahiro Asahi, Ayako Taniguchi, Minoru Mizuno; Evaluation *of city-scale impact of residential energy conservation measures using the detailed end-use simulation model*; Energy 32 (2007) 1617–1633

Appendice 1

Abachi delle strutture

wall

name	age of bui	tipe	U	descrizion	heatbridge	thick	Emittance	Uwall
wall_1	before 1919	wall	1,02	Muratura in pietrame ed altro materiale sciolto, con molta malta di calce	0,05	0,7	0,9	1,07205
wall_2	1919_45	wall	1,50	Muratura in Blocchi	0,05	0,6	0,9	1,5771
wall_3	1946_61	wall	1,50	Muratura in blocchi, e struttura in CA	0,07	0,6	0,9	1,60714
wall_4	1962_71	wall	0,98	Struttura CA, e muratura cassa vuota	0,1	0,45	0,9	1,0868
wall_5	1972_81	wall	0,76	Struttura CA, e muratura cassa vuota con isolante sciolto degradato	0,2	0,35	0,9	0,912
wall_6	1982_91	wall	0,76	Struttura CA, e muratura cassa vuota con isolante (3cm)	0,2	0,25	0,9	0,912
wall_7	1992_2005	wall	0,62	Struttura CA, e muratura intercapedine con isolante (3-5 cm)	0,2	0,25	0,9	0,74
wall_8	after_2005	wall	0,57	U definita per legge a seconda della zona termica	0,1	0,3	0,9	0,57
wall_9	1992_2005R	wall	1	Muratura portante con presenza di capotto termico interno o esterno (3cm)	0,05	0,75	0,9	0,9
wall_10	after_2005R	wall	0,57	Muratura portante con capotto termico interno o esterno (5cm)	0,05	0,8	0,9	0,57

Tab. n°A1.1 Abaco delle chiusure verticali opache esterne. Nell'ordine: codice univoco, periodo di costruzione, tipo di elemento costruttivo, trasmittanza, descrizione, incidenza ponte termico, spessore parete, emittanza, trasmittanza corretta.

Base_contra_ground

OBJECTID *	name	age of bui	tipe	U	descrizion	heatbridge	thick	Emittance	Ubase
1	Base_1	before 1919	Base	2	massetto cementizio direttamente du terreno	0,05	0,2	0	2,1
2	Base_2	1919_45	Base	1,8	soletta laterocementizia su terreno	0,05	0,25	0	1,942
3	Base_3	1946_61	Base	1,7	soletta laterocementizia su vespaio	0,07	0,3	0	1,872
4	Base_4	1962_71	Base	1,7	soletta laterocementizia su vespaio	0,1	0,3	0	1,925
5	Base_5	1972_81	Base	1,7	soletta laterocementizia su vespaio	0,2	0,3	0	2,1
6	Base_6	1982_91	Base	1,2	soletta laterocementizia su vespaio	0,2	0,3	0	1,488
7	Base_7	1992_2005	Base	1	soletta laterocementizia su vespaio	0,2	0,3	0	1,2
8	Base_8	after_2005	Base	0,5	soletta laterocementizia su vespaio, isolata	0,1	0,3	0	0,55
9	Base_9	1992_2005R	Base	0,6	soletta laterocementizia su vespaio, isolata	0,1	0,3	0	0,74
10	Base_10	after_2005R	Base	0,5	soletta laterocementizia su vespaio, isolata	0,1	0,3	0	0,55

Tab. n°A1.2 Abaco delle chiusure di base contro terra. Nell'ordine: codice univoco, periodo di costruzione, tipo di elemento costruttivo, trasmittanza, descrizione, incidenza ponte termico, spessore parete, emittanza, trasmittanza corretta.

Base_external

OBJECTID *	name	age of bui	tipe	U	descrizion	heatbridge	thick	Emittance	Ubase
1	Base_Est1	before 1919	Base_Est	1,8	solaio in legno	0,05	0,25	0,87	1,89
2	Base_Est2	1919_45	Base_Est	1,7	soletta laterocementizia	0,05	0,2	0,87	1,837
3	Base_Est3	1946_61	Base_Est	1,7	soletta laterocementizia	0,07	0,3	0,87	1,872
4	Base_Est4	1962_71	Base_Est	1,6	soletta laterocementizia	0,1	0,35	0,87	1,815
5	Base_Est5	1972_81	Base_Est	1,6	soletta laterocementizia	0,2	0,3	0,87	1,98
6	Base_Est6	1982_91	Base_Est	1,2	soletta laterocementizia	0,2	0,3	0,87	1,464
7	Base_Est7	1992_2005	Base_Est	1	soletta laterocementizia	0,2	0,3	0,87	1,2
8	Base_Est8	after_2005	Base_Est	0,5	soletta laterocementizia, isolata	0,1	0,3	0,87	0,55
9	Base_Est9	1992_2005R	Base_Est	0,6	soletta laterocementizia, isolata	0,05	0,3	0,87	0,7
10	Base_Est10	after_2005R	Base_Est	0,5	soletta laterocementizia, isolata	0,1	0,3	0,87	0,55

Tab. n°A1.3 Abaco delle chiusure di base esterne. Nell'ordine: codice univoco, periodo di costruzione, tipo di elemento costruttivo, trasmittanza, descrizione, incidenza ponte termico, spessore parete, emittanza, trasmittanza corretta.

tilted_roof

OBJECTID *	name	age of bui	tipe	U	descrizion	heatbridge	thick	Emittance	Uroof	Ass
1	TRoof_1	before 1919	TRoof	1,8	tetto a falde in legno	0,05	0,2	0,87	1,89	0,9
2	TRoof_2	1919_45	TRoof	2,2	tetto a falde in latero cementizio	0,05	0,2	0,87	2,31	0,9
3	TRoof_3	1946_61	TRoof	2,2	tetto a falde latero cementizio	0,07	0,2	0,87	2,354	0,9
4	TRoof_4	1962_71	TRoof	2,1	tetto a falde laterocementizio	0,1	0,25	0,87	2,31	0,9
5	TRoof_5	1972_81	TRoof	2,1	tetto a falde latero cementizio	0,2	0,25	0,87	2,52	0,9
6	Troof_6	1982_91	TRoof	1,1	tetto a falde laterocementizio con strato di isolante	0,2	0,25	0,87	1,368	0,9
7	Troof_7	1992_2005	TRoof	0,8	tetto a falde laterocementizione con isolante (3 cm)	0,2	0,25	0,87	0,96	0,9
8	TRoof_8	after_2005	TRoof	0,5	tetto a falde laterocementizio con isolante (5 cm)	0,1	0,3	0,87	0,55	0,9
9	TRoof_9	1992_2005R	TRoof	1	tetto a falde laterocementizione con isolante (3 cm)	0,05	0,35	0,87	1,05	0,9
10	TRoof_10	after_2005R	TRoof	0,5	tetto a falde laterocementizione con isolante (5 cm)	0,1	0,35	0,87	0,55	0,9

Tab. n°A1.4 Abaco delle coperture inclinate. Nell'ordine: codice univoco, periodo di costruzione, tipo di elemento costruttivo, trasmittanza, descrizione, incidenza ponte termico, spessore parete, emittanza, trasmittanza corretta.

orizontal_roof

name	age of bui	tipe	U	descrizion	heatbridge	thick	Emittance	Uroof	Ass
ORoof_1	before 1919	ORoof	1,8	soletta laterocementizia	0,05	0,2	0,94	1,942	0,6
ORoof_2	1919_45	ORoof	1,8	soletta laterocementizia	0,05	0,2	0,94	1,942	0,6
ORoof_3	1946_61	ORoof	1,8	soletta laterocementizia	0,07	0,2	0,94	1,98	0,6
ORoof_4	1962_71	ORoof	1,3	soletta laterocementizia, massetto e pavimentazione ceramica	0,1	0,35	0,87	1,485	0,3
ORoof_5	1972_81	ORoof	1,3	soletta laterocementizia, massetto e pavimentazione ceramica	0,2	0,25	0,87	1,62	0,3
ORoof_6	1982_91	ORoof	0,9	soletta laterocementizia, massetto e pavimentazione ceramica, con isolante	0,2	0,25	0,87	1,116	0,3
ORoof_7	1992_2005	ORoof	0,6	soletta laterocementizia, massetto e pavimentazione ceramica, con isolante (3cm)	0,2	0,25	0,87	0,74	0,3
ORoof_8	after_2005	ORoof	0,5	soletta laterocementiziammassetto e pavimentazione ceramica, con isolante (5 cm)	0,1	0,3	0,87	0,55	0,3
ORoof_9	1992_2005R	ORoof	0,6	soletta laterocementiziammassetto e pavimentazione ceramica, con isolante (3cm)	0,05	0,35	0,94	0,74	0,3
ORoof_10	after_2005R	ORoof	0,5	soletta laterocementiziammassetto e pavimentazione ceramica, con isolante (5cm)	0,1	0,3	0,87	0,55	0,3

Tab. n°A1.5 Abaco delle coperture orizzontali. Nell'ordine: codice univoco, periodo di costruzione, tipo di elemento costruttivo, trasmittanza, descrizione, incidenza ponte termico, spessore parete, emittanza, trasmittanza corretta.

internal_wall

OBJECTID *	name	age of bui	tipe	U	descrizion	heatbridge	thick	Emittance	Uiwall	thickW
1	iwall_1	before 1919	iwall	2,1	Muratura in mattone pieno	0	0,15	0,9	2,1	0,15
2	iwall_2	1919_45	iwall	1,8	Muratura in mattone pieno	0	0,15	0,9	1,89	0,15
3	iwall_3	1946_61	iwall	1,3	Muratura in mattone forato	0	0,2	0,9	1,35	0,2
4	iwall_4	1962_71	iwall	1,3	Muratura in mattone forato	0	0,2	0,9	1,35	0,2
5	iwall_5	1972_81	iwall	1,3	Muratura in mattone forato	0	0,3	0,9	1,35	0,3
6	iwall_6	1982_91	iwall	1,3	Muratura in mattone forato	0	0,2	0,9	1,35	0,2
7	iwall_7	1992_2005	iwall	1,1	Muratura in mattone forato	0	0,25	0,9	1,15	0,25
8	iwall_8	after_2005	iwall	0,5	Muratura in mattone forato, isolata	0	0,3	0,9	0,55	0,3
9	iwall_9	1992_2005R	iwall	0,7	Muratura in mattone forato, isolata	0	0,3	0,9	0,7	0,3
10	iwall_10	after_2005R	iwall	0,5	Muratura in mattone forato, isolata	0	0,3	0,9	0,55	0,3

Tab. n°A1.6 Abaco dei muri di separazione col vano scala. Nell'ordine: codice univoco, periodo di costruzione, tipo di elemento costruttivo, trasmittanza, descrizione, incidenza ponte termico, spessore parete, emittanza, trasmittanza corretta.

orizontal_internal_partition

name	age of bui	U	descrizion	heatbridge	thick	Emittanc	Ass	Kter Oi	Ubase
Oint_partition_1	before 1919	1,8	solaio in legno	0	0,2	0	0	0	1,85
Oint_partition_2	1919_45	1,8	soletta piena	0	0,2	0	0	0	1,85
Oint_partition_3	1946_61	1,8	soletta piena	0	0,2	0	0	0	1,85
Oint_partition_4	1962_71	1,3	soletta laterocementizia, massetto e pavimentazione ceramica	0	0,35	0	0	0	1,35
Oint_partition_5	1972_81	1,3	soletta laterocementizia, massetto e pavimentazione ceramica	0	0,25	0	0	0	1,35
Oint_partition_6	1982_91	1,3	soletta laterocementizia, massetto e pavimentazione ceramica	0	0,3	0	0	0	1,35
Oint_partition_7	1992_2005	1,3	soletta laterocementizia, massetto e pavimentazione ceramica	0	0,3	0	0	0	1,35
Oint_partition_8	after_2005	1	soletta laterocementiziammassetto e pavimentazione ceramica, con isolante	0	0,3	0	0	0	1
Oint_partition_9	1992_2005R	1	soletta laterocementizia, massetto e pavimentazione ceramica, con isolante	0	0,3	0	0	0	1,35
Oint_partition_10	after_2005R	1	soletta laterocementizia, massetto e pavimentazione ceramica, con isolante	0	0,3	0	0	0	1

Tab. n°A1.7 Abaco dei solai intermedi. Nell'ordine: codice univoco, periodo di costruzione, tipo di elemento costruttivo, trasmittanza, descrizione, incidenza ponte termico, spessore parete, emittanza, trasmittanza corretta.

Windows

name	age of bui	tipe	U	descrizion	Emittance	Uwind	Rshutters	ENgl	glsh	Fgl
wind_1	before 1919	Wind	4,9	finestre in legno con vetro singolo, schermature in legno	0,8	3,253	0,34	0,765	0,5	0,8
wind_2	1919_45	Wind	4,9	finestre in legno con vetro singolo, schermature in legno	0,8	3,253	0,34	0,765	0,5	0,8
wind_3	1946_61	Wind	4,9	finestre in legno con vetro singolo, taparelle	0,8	3,813	0,29	0,765	0,5	0,8
wind_4	1962_71	Wind	4,9	finestre in legno con vetro singolo, taparelle	0,8	3,813	0,29	0,765	0,5	0,8
wind_5	1972_81	Wind	4,9	finestre in legno con vetro singolo, taparelle	0,8	3,813	0,29	0,765	0,5	0,8
wind_6	1982_91	Wind	4,9	finestre in legno con vetro singolo, taparelle	0,8	3,813	0,29	0,765	0,5	0,8
wind_7	1992_2005	Wind	3,3	finestre in legno con vetro doppio, taparelle	0,8	2,323	0,29	0,675	0,5	0,8
wind_8	after_2005	Wind	3,3	finestre a taglio termico, vetro doppio	0,8	2	0,29	0,63	0,5	0,8
wind_9	1992_2005R	Wind	3,3	finestre in legno con vetro doppio, taparelle	0,8	2,323	0,29	0,63	0,5	0,8
wind_10	after_2005R	Wind	3,3	finestre a taglio termico, vetro doppio	0,8	2	0,29	0,63	0,5	0,8

Tab. n°A1.8 abaco delle chiusure trasparenti. Nell'ordine: codice univoco, periodo di costruzione, tipo di elemento costruttivo, trasmittanza, descrizione, emittanza, trasmittanza corretta con schermatura; resistenza termica della schermatura; trasmittanza di energia solare, trasmittanza di energia solare con schermatura, incidenza del vetro nella finestra.

B1_EXTERNALS_SURFACES

B3_AZIMUT_ANALISYS

B4_PREPARING_TO_OBSTRUCTION_36

B5_OBSTRUCTION_ANALYSIS_52

C12_EXTRA_FLUX_VERTICAL_SURFACES

A4_result

Copy Features (3)

C21_base

Add Field (2)

C21_base (2)

Calculate Field (3)

C21_base (3)

Copy Features

Hventilation

C21_VENTILATION_H[W/K]

C31_SOLAR_SHADE_FACTORS_NEW

C33_SOLAR_GAINS_VERTICAL_FI_CALCULATION

C34_WINDOWS_GAINS_FI_CALCULATION

C35_HEATING_QSOLH[KWH]

C51_FUH_CALCULATION